

ESTUDO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DE UM EDIFÍCIO REMODELADO EM BETÃO ARMADO

RAQUEL CARVALHO PEDREIRAS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS E GEOTECNIA

Orientador: Professor Doutor Rui Manuel de Menezes e Carneiro de Barros

JUNHO DE 2022

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2021/2022

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais, Irmãos e Avó.

Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica nossa ignorância.

John F. Kennedy

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Rui Manuel de Menezes e Carneiro de Barros, pela dedicação e ajuda ao longo da elaboração desta dissertação, através da sua total disponibilidade, esclarecimento de dúvidas e fornecimento de documentos importantes para a realização da presente tese.

À empresa TECHONIS – Global Consulting Service, pela disponibilidade demonstrada e a oportunidade de realizar este trabalho.

A todos os colaboradores da empresa, principalmente ao Eng. Bernardino Lima, Eng. Romeu Simões e Eng.^a Joana Teixeira, pela receção, disponibilidade, apoio, fornecimento de documentos e conhecimentos transmitidos.

À empresa Seismosoft, pelo fornecimento do programa SeismoStruct-2022 e respetiva licença de utilização, imprescindível para a realização deste trabalho.

À minha família e amigos, pelo incentivo e acompanhamento durante o desenrolar da dissertação.

RESUMO

A presente dissertação tem como principal objetivo a avaliação de vulnerabilidade sísmica de um edifício remodelado em betão armado. Esta avaliação, é realizada através da elaboração de um relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica e verificação da necessidade de elaboração de projeto de reforço sísmico, caso esse relatório venha a concluir que o edifício não satisfaz as exigências de segurança.

Relativamente ao edifício em causa, encontra-se situado na região de Lisboa, que por motivos de proteção de dados, não irá ser identificado. Este edifício foi projetado em 1999, como um edifício industrial, sendo composto por 3 pisos com pés direitos de grande altura. Contudo, esse edifício foi remodelado e convertido num hotel em 2019, onde foram adicionados andares entre os pisos existentes e reforçados os elementos estruturais.

Para efeitos da análise em estudo, apenas irá ser estudada uma parte do edifício, visto que a meio do edifício existe uma junta estrutural; então, foi considerado que o edifício era constituído por duas unidades independentes.

Para o cumprimento do objetivo, a dissertação encontra-se dividida em duas partes. A primeira parte diz respeito à descrição de metodologias para avaliação da segurança sísmica de edifícios existentes, baseada em análises de fiabilidade estrutural para edifícios de betão armado, proposto pelo LNEC (2019). A segunda parte, é constituída por capítulos que abordam a modelação do edifício em análise, bem como a verificação da segurança para o método de referência descrito na NP EN 1998-3 (2017) (aplicando-se para isso uma análise estática não linear – Pushover).

A modelação numérica para a elaboração da análise Pushover, foi executada no Autodesk Robot Structural Analysis e no SeismoStruct.

Através do SeismoStruct, foi possível verificar a capacidade de deformação dos elementos estruturais, bem como a resistência ao esforço transversal cíclico para um deslocamento-alvo, determinado para o estado limite de dano na estrutura, descritas na NP EN 1998-3 (2017). Além disso, o programa SeismoStruct forneceu o rácio entre a exigência e a capacidade dos elementos estruturais, efetuando a análise Pushover, o que permitiu verificar a segurança de cada elemento estrutural.

Como resultado das análises expostas, conclui-se que o estado limite de danos severos (SD) é satisfeito para a verificação da segurança sísmica do edifício considerado pelos métodos I e II, bem como pelo método de referência, chegando-se à conclusão que não é necessário proceder ao projeto de reforço sísmico.

PALAVRAS-CHAVE: vulnerabilidade sísmica, portaria n.º 302/2019, métodos expeditos, NP EN 1998-3 (2017), SeismoStruct.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation is the seismic vulnerability assessment of a remodelled reinforced concrete building. This evaluation is done through the elaboration of a seismic vulnerability assessment report and the verification of the need to elaborate a seismic strengthening design, (in case this report would conclude that the building does not satisfy the safety requirements).

The building in question is located in the Lisbon region which, for data protection reasons, will not be identified. The building was designed in 1999, as an industrial building, consisting of 3 floors with high ceilings. However, this building was remodeled and converted into a hotel in 2019, where floors were added between the existing floors and structural elements were reinforced.

For the purpose of the analysis under study, only a part of the building will be studied, since in the middle of the building there is a structural expansion joint; so it was considered that the building consisted of two independent units.

To fulfill the objective, the dissertation is divided into two parts. The first part concerns the description of methodologies for evaluating the seismic safety of existing buildings, based on structural reliability analysis for reinforced concrete building, proposed by LNEC (2019). The second part is constituted by chapters that address the modelling of the building under analysis, as well as the safety verification for the reference method described in NP EN 1998-3 (2017), applying a non-linear static analysis (Pushover). The numerical modeling for the Pushover analysis was performed in Autodesk Robot Structural Analysis and also using SeismoStruct.

Through SeismoStruct, it was possible to verify the deformation capacity of the structural elements, as well as the cyclic shear strength for a target displacement, determined for the damage limit state in the structure described in NP EN 1998-3 (2017). Moreover, the program SeismoStruct provided the ratio between the demand and the capacity of the structural elements, performing Pushover analysis, which allowed to verify the safety of each structural element.

As a result of the above analyses, it was concluded that the Severe Damage Limit State (SD) is satisfied for the verification of the seismic safety of the building by the methods I and II, as well as for the reference method, reaching the conclusion that it is not necessary to proceed with the seismic reinforcement project.

KEYWORDS: seismic vulnerability, ordinance n.º 302/2019, expedite methods, NP EN 1998-3 (2017), SeismoStruct.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
 1 INTRODUÇÃO	 1
1.1 ENQUADRAMENTO GERAL.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
 2 AVALIAÇÃO SÍSMICA	 5
2.1 REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS OU FRAÇÕES AUTÓNOMAS.....	5
2.2 PORTARIA N.º 302/2019	6
2.3 METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO SÍSMICA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES EM BETÃO ARMADO	7
2.3.1 CRITÉRIOS DE APLICABILIDADE	7
2.3.2 CLASSE DE IMPORTÂNCIA	8
2.3.3 NÚMERO DE PISOS.....	8
2.3.4 REGULARIDADE ESTRUTURAL	8
2.3.5 REGULARIDADE EM PLANTA	9
2.3.6 REGULARIDADE EM ALTURA	10
2.3.7 INTERAÇÕES COM EDIFÍCIOS ADJACENTES	12
2.3.8 CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS LOCAIS	12
2.4 METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL EM RELAÇÃO À AÇÃO SÍSMICA	13
2.4.1 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA SÍSMICA DE ACORDO COM O MÉTODO II	14
2.4.1.1 Resistência para forças horizontais associada ao mecanismo de flexão dos elementos verticais.	16
2.4.1.2 Resistência para forças horizontais associada ao mecanismo de corte dos elementos verticais	16
2.4.2 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA SÍSMICA DE ACORDO COM O MÉTODO I	18
2.5 ANÁLISE PUSHOVER.....	19
2.5.1 CARGAS LATERAIS:	20
2.5.2 ESTIMATIVA DOS EFEITOS DE TORÇÃO	20

2.5.3	MÉTODO N2	20
2.5.4	CÁLCULO DA CAPACIDADE RESISTENTE	23

3 CASO EM ESTUDO 25

3.1 INTRODUÇÃO 25

3.2 INFORMAÇÃO ESTRUTURAL..... 28

3.2.1 FUNDAÇÕES 28

3.2.2 SUPERESTRUTURA..... 28

3.2.3 LAJES 29

3.2.4 PILARES E VIGAS..... 30

3.2.5 PAREDES RESISTENTES..... 30

3.2.6 MATERIAIS..... 30

3.2.6.1 Betão 30

3.2.6.2 Aço..... 30

3.2.7 AÇÕES CONSIDERADAS 31

3.2.7.1 Peso próprio..... 31

3.2.7.2 Sobrecargas:..... 31

3.3 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO SEGUNDO A NP EN 1998-1 (2010)..... 31

3.3.1 VERIFICAÇÃO DA REGULARIDADE EM PLANTA 31

3.3.2 VERIFICAÇÃO DA REGULARIDADE EM ALTURA..... 31

3.3.3 CLASSE DE IMPORTÂNCIA 32

3.3.4 DEFINIÇÃO DO ESTADO LIMITE..... 32

3.3.5 DEFINIÇÃO DA ZONA SÍSMICA 33

3.3.6 TIPO DE TERRENO 34

3.4 DEFINIÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA..... 35

3.5 VERIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS RELATIVOS À PORTARIA Nº 302/2019 37

3.5.1 ÁREA INTERVENCIÓNADA, EXCEDER 25 % DA ÁREA BRUTA DE CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO. 37

3.5.2 CUSTO DE CONSTRUÇÃO EXCEDER, NO MÍNIMO 25 % DO CUSTO DE CONSTRUÇÃO NOVA DE EDIFÍCIO EQUIVALENTE. 37

4 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA APLICANDO AS METODOLOGIAS EXPEDITAS 39

4.1 VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE..... 39

4.1.1	NÚMERO DE PISOS	40
4.1.2	ÁREA DE IMPLANTAÇÃO	40
4.1.3	REGULARIDADE ESTRUTURAL	40
4.1.4	REGULARIDADE EM PLANTA	40
4.1.5	REGULARIDADE EM ALTURA	41
4.1.6	INTERAÇÃO ENTRE EDIFÍCIOS ADJACENTES	42
4.2	AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA SEGUNDO O MÉTODO II.....	42
4.2.1	RESISTÊNCIA PARA FORÇAS HORIZONTAIS ASSOCIADA AO MECANISMO DE FLEXÃO	42
4.2.2	RESISTÊNCIA PARA FORÇAS HORIZONTAIS ASSOCIADAS A MECANISMOS DE CORTE	46
4.2.3	OBTENÇÃO DO PESO TOTAL DO EDIFÍCIO	50
4.2.4	AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA.....	50
4.3	AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA SEGUNDO O MÉTODO I.....	52
5	ANÁLISE PUSHOVER.....	55
5.1	ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS	55
5.2	MODELAÇÃO NO SEISMOSTRUCT	57
5.2.1	DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS	57
5.2.2	DISTRIBUIÇÃO DA NÃO LINEARIDADE.....	59
5.2.3	IMPLEMENTAÇÃO DA ARMADURA E SUA MODELAÇÃO.....	60
5.2.4	CONDIÇÕES DE APOIO	61
5.2.5	ESTIMATIVA DOS EFEITOS DE TORÇÃO	63
5.3	ANÁLISE PUSHOVER NO SEISMOSTRUCT	63
5.3.1	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA N2.....	64
5.3.2	CARGAS ADOTADAS NA ANÁLISE	65
5.3.3	ANÁLISE ESTÁTICA PUSHOVER CONSIDERANDO PÉS DIREITOS FICTÍCIOS.....	65
5.3.4	AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE.....	71
5.3.5	ANÁLISE ESTÁTICA PUSHOVER CONSIDERANDO PÉS DIREITOS REAIS	73
5.3.6	AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE.....	73
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
6.1	CONCLUSÕES	77
6.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	78

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
BIBLIOGRAFIA ADICIONAL UTILIZADA	81
ANEXOS	83
ANEXO A. - PEÇAS DESENHADAS- ARQUITETURA.....	85
A.1 - PLANTAS.....	87
A.2 – ALÇADOS E CORTES.....	93
ANEXO B. - PEÇAS DESENHADAS - ESTRUTURAS	97
B.1 – PLANTAS ESTRUTURAIS.....	99
B.2 – CAIXA DE ELEVADOR.....	106
B.3 – QUADRO DE PILARES – BLOCO B	108
B.4 – QUADRO DE PILARES E MURO – EDIFÍCIO ORIGINAL	110
ANEXO C. - RELATÓRIO DE VULNERABILIDADE SÍSMICA DO EDIFÍCIO.....	113
ANEXO D. – RESULTADOS OBTIDOS PELA ANÁLISE PUSHOVER NO SEISMOSTRUCT.....	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Fluxograma para a avaliação da segurança sísmica de edifícios existentes (LNEC (2019) - Relatório 81/2019)	7
Fig. 2 – Definição de pilares curtos para diferentes condições de fronteira (LNEC (2019) - Relatório 81/2019)	9
Fig. 3 - Critérios de regularidade dos edifícios com recuos (NP EN 1998-1 (2010)).....	11
Fig. 4 - Disposições para avaliar a interação com edifícios adjacentes (LNEC (2019) - Relatório 81/2019)	12
Fig. 5 - Determinação da relação idealizada força/deslocamento elasto-perfeitamente plástica (NP EN 1998-1 (2010)).....	22
Fig. 6 - Determinação do deslocamento-alvo para o sistema equivalente com um só grau de liberdade (NP EN 1998-1 (2010))	23
Fig. 7 – Projeto do edifício em 3D	25
Fig. 8 – Pés-direitos do edifício original	26
Fig. 9 – Novos pisos/pés-direitos	26
Fig. 10 – Reforço de pilares	27
Fig. 11 – Reforço de pilares	27
Fig. 12 - Implantação do edifício / Área de estudo.....	28
Fig. 13 - Corte lateral do edifício	32
Fig. 14 - Zonamento Sísmico de Portugal continental (NP EN 1998-1 (2010)).....	33
Fig. 15 - Espectro de resposta elástico para a ação sísmica tipo 1 e 2	36
Fig. 16 – Modelação 3D no Robot	56
Fig. 17 – Curva de capacidade no Robot.....	56
Fig. 18 - Comportamento histerético para o aço A500NR	58
Fig. 19 - Comportamento histerético para a classe de betão C30/37	58
Fig. 20 - Discretização de uma típica secção de betão armado – Modelo das fibras.....	59
Fig. 21 - Secções dos pilares com necessidade de reforço	60
Fig. 22 – Secções das paredes do núcleo	60
Fig. 23 – Planta exemplificativa da modelação.....	61
Fig. 24 – Modelação 3D do edifício.....	63
Fig. 25 - Espectro de resposta elástica para a ação sísmica tipo 1, atendendo aos SD.	64
Fig. 26 - Espectro de resposta elástica para a ação sísmica tipo 2, atendendo aos SD.	64
Fig. 27 - Deformada referente à ação sísmica tipo 1, segundo a direção x	67
Fig. 28 - Curva de capacidade e a curva idealizada, segundo a direção x	68

Fig. 29 - Deformada referente à ação sísmica tipo 1, segundo a direção y	69
Fig. 30 - Curva de capacidade e a curva idealizada, segundo a direção y	70
Fig. 31 - Elemento crítico resultantes da análise Pushover para um deslocamento de 60,00mm	72
Fig. 32 – Formação de rótulas plásticas na extremidades do pilar 41, P 40 e P 53.....	72
Fig. 33 – Formação de mecanismos para o pilar PB'8 e P41.....	74
Fig. 34 – Mecanismos locais para o deslocamento 78,00 mm	74

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de terrenos (NP EN 1998-1 (2010))	13
Quadro 2 - Valores de φ para calcular ψ_{Ei}	15
Quadro 3 – Valores recomendados dos coeficientes ψ para edifícios (NP EN 1990 (2009))	15
Quadro 4 – Coeficiente sísmico exigido no piso 1 (LNEC (2019) - Relatório 81/2019).....	17
Quadro 5 - Valores exigidos de área de pilares, em percentagem da área de implantação dos edifícios por zona sísmica e tipo de terreno (LNEC (2019) - Relatório 81/2019).....	19
Quadro 6 – Altura dos pisos	29
Quadro 7 – Altura fictícia	29
Quadro 8 - Áreas por piso	29
Quadro 9 - Lista de Concelhos com definição do zonamento sísmico (adaptado NP EN 1998-1 (2010))	33
Quadro 10 - Coeficientes multiplicativos da ação sísmica de referência para obtenção da aceleração máxima de referência para aplicação da (adaptada NP EN 1998-3 (2017)).....	34
Quadro 11 - Valores de Módulo de Elasticidade para diferentes tipos de solos (Cintra et al. 2003). ..	34
Quadro 12 – ângulo de atrito interno de areias (Segundo Moraes, 1978)	35
Quadro 13 – Ângulo de atrito	35
Quadro 14 - Parâmetros adotados no espectro de resposta elástico para a ação sísmica tipo 1 (adaptado NP EN 1998-1 (2010)).....	36
Quadro 15 - Parâmetros adotados no espectro de resposta elástico para a ação sísmica tipo 2 (adaptado NP EN 1998-1 (2010)).....	36
Quadro 16 - Verificação do critério da alínea c) do n.º 1 do artigo 1.º da portaria	37
Quadro 17 - Verificação do critério da alínea d) do n.º 1 do artigo 1.º da portaria	37
Quadro 18 - Verificação dos critérios para a obrigatoriedade de elaboração do relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica do edifício.....	37
Quadro 19 - Verificação dos critérios de aplicabilidade para os métodos expeditos I e II	39
Quadro 20 – Verificação da inexistência de pilares curtos	40
Quadro 21 - Percentagem relativa à resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de flexão –Piso 1	44
Quadro 22 – Percentagem da resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de flexão – Cobertura.....	45
Quadro 23 - Resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de corte - Piso 1	47
Quadro 24 - Resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de corte - Cobertura	48
Quadro 25 - Resistência total dos elementos verticais, associados ao piso 1 e cobertura.....	49
Quadro 26 - Quadro de pesos próprios	50

Quadro 27 - Coeficiente sísmico exigido	51
Quadro 28 - Verificação da segurança sísmica para todos os pisos	51
Quadro 29 – Número de fibras	59
Quadro 30 – Coeficiente de sensibilidade na direção x.....	62
Quadro 31 - Coeficiente de sensibilidade na direção y	62
Quadro 32 – Deslocamento -alvo.....	66
Quadro 33 - Valores obtidos para a curva idealizada, segundo a direção x	68
Quadro 34 – Fator de participação modal, x.....	68
Quadro 35 – Verificação da condição de limitação de dano, x.....	69
Quadro 36 - Valores obtidos para a curva idealizada, segundo a direção y	70
Quadro 37 – Fator de participação modal, y	70
Quadro 38 - Verificação da condição de limitação de dano, y.....	71
Quadro 39 . Fator de participação modal.....	73
Quadro 40 - Verificação da capacidade dos Pilares PB'8 e P41	74
Quadro 41 - Verificação da capacidade dos mecanismos locais para o deslocamento de 78,00 mm	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de importância para edifícios (LNEC (2019) - Relatório 81/2019).....	8
Tabela 2 - Coeficiente η em função do número de pisos do edifício e do piso em análise (LNEC (2019) - Relatório 81/2019).....	18
Tabela 3 - Verificação da regularidade em planta – Piso 1	41
Tabela 4 - Verificação da regularidade em planta – Piso 2	41
Tabela 5 - Verificação da regularidade em planta – Piso 3	41
Tabela 6 - Verificação da regularidade em planta – Cobertura	41
Tabela 7 - Resistência à flexão dos pilares, paredes do núcleo e muros – Piso 1	43
Tabela 8 - Resistência à flexão dos pilares, paredes do núcleo e muros – Cobertura	45
Tabela 9 - Resistência ao corte cíclico dos pilares, paredes do núcleo e muros – Piso 1	46
Tabela 10 - Resistência ao corte cíclico dos pilares e paredes do núcleo – Cobertura	48
Tabela 11 - Resistência mais desfavorável para cada elemento vertical – Piso 1 e Cobertura.....	49
Tabela 12 - Peso total por piso	50
Tabela 13 - Coeficiente sísmico do edifício	51
Tabela 14 - Coeficiente sísmico do exigido	51
Tabela 15 - $A_{P,i}$ - Percentagem de área de todos os elementos verticais de um piso	52
Tabela 16 - $A_{P,E,j}$ - Percentagem de área de pilares exigida no piso	52
Tabela 17 - Verificação de segurança	52
Tabela 18 - Verificação da segurança para 90% de combinação sísmica de ações – Piso 2	53
Tabela 19 - Verificação da segurança para 90% de combinação sísmica de ações em cada piso.....	54
Tabela 20 - Raio de torção e o raio de giração para a direção x e y	63

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

- N_{SPT} - número de pancadas do ensaio de penetração dinâmica;
- e_{ox} - distância entre o centro de rigidez e o centro de gravidade, medida segundo a direção x , perpendicular à direção de cálculo considerada;
- r_x - rigidez de torção e a rigidez horizontal na direção y (“raio de torção”);
- l_s - raio de giração da massa do piso em planta;
- $CS_{c,j}$ - coeficiente sísmico que quantifica a capacidade do edifício;
- $CS_{E,j}$ - coeficiente sísmico exigido;
- $V_{H,j}$ - resistência para forças horizontais de todos os elementos estruturais de um determinado piso j ;
- W_E - peso total do edifício correspondente à combinação sísmica de ações;
- $W_{e,j}$ - peso por unidade de área resultante da combinação sísmica de ações;
- $A_{s,j}$ - área associado ao piso j ;
- $\Psi_{E,i}$ - coeficiente de combinação para o cálculo de esforços sísmicos, que tem em conta a possibilidade de as cargas $Q_{k,i}$ não estarem presentes em toda a estrutura na presença do sismo;
- $\sum G_{k,j}$ - somatório associadas à massa de todas as forças gravíticas;
- $Q_{k,i}$ - cargas variáveis;
- ψ - Coeficientes de combinação, para o valor quase-permanente da ação variável Q_i ;
- b_i, h_i - largura e altura da secção transversal do pilar i ;
- $\rho_{l,i}$ - taxa total da armadura longitudinal do pilar i ;
- f_{yl} - valor médio da tensão de cedência das armaduras longitudinais dos pilares;
- $L_{v,i}$ - distância entre a extremidade dos pilares e o ponto de inflexão;
- $A_{c,i}$ - área da secção transversal do pilar i ;
- τ_c - tensão de corte;
- h_i - dimensão da secção transversal segundo a direção de carga em consideração;
- $\rho_{w,i}$ - taxa total da armadura transversal do pilar i ;
- f_{yw} - valor médio da tensão de cedência das armaduras transversais;
- n - número de pisos existentes no edifício;
- $\tau_{MI,i}$ - tensão transversal equivalente;
- w_E - peso por unidade de área resultante da combinação sísmica de ações;
- e_{ai} - excentricidade accidental da massa do piso i em relação à sua localização nominal;
- L_i - dimensão do piso na direção perpendicular à direção da ação sísmica;
- l_s - raio de giração da massa do piso em planta;
- m^* - massa de um sistema equivalente com um só grau de liberdade;

m_i - massa de cada piso i ;

Φ_i - deslocamentos para cada piso i , normalizados pelo deslocamento do nó de controlo;

F_i - Forças laterais normalizadas.

F_b - força de corte na base e d_n deslocamento do nó de controlo;

A - formação do mecanismo plástico;

E_m^* - energia de deformação real até à formação do mecanismo plástico;

$S_e(T^*)$ - valor do espectro de resposta elástica de aceleração para o período T^* ;

$V_{H,j}$ - Resistência para forças horizontais de todos elementos verticais;

$V_{F,j}$ - Resistência considerando mecanismos de flexão;

$V_{C,i}$ - Resistência considerando mecanismos de corte.

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

A análise da vulnerabilidade sísmica adquiriu grande importância em edifícios existentes, devido à necessidade em garantir segurança estrutural e diminuir o risco sísmico.

Nesse sentido, o risco sísmico é função da perigosidade sísmica local, exposição e da vulnerabilidade sísmica de um determinado edifício.

Importa realçar que as estruturas existentes que vão estar sujeitas a alterações estruturais, não podem ser tratadas de igual forma que os edifícios novos, pois o seu período de exploração é diferente. Nos edifícios existentes, a perigosidade sísmica é a mesma antes e após a intervenção, pois a zona sísmica mantém-se igual, bem como a sua exposição, o mesmo pode não acontecer relativamente à vulnerabilidade sísmica. Por isso, a mitigação do risco sísmico está principalmente concentrada na redução da vulnerabilidade sísmica dos edifícios.

E, portanto, nos últimos anos, em Portugal, tornou-se obrigatório em determinadas situações, a avaliação da vulnerabilidade sísmica em edifícios sujeitos a ampliação, reconstrução ou alteração.

Deste modo, foi publicada a portaria nº 302/2019 que define os termos em que obras sujeitas a ampliação, reconstrução ou alteração devem apresentar um relatório de avaliação da vulnerabilidade sísmica, onde são apresentados a capacidade do respetivo edifício em análise.

Para além disso, esta portaria descreve quais as condições em que é exigido a elaboração de um projeto de reforço sísmico.

Assim, a portaria constitui um passo importante no aumento da segurança estrutural dos edifícios em Portugal, com o objetivo de proteger vidas humanas e mitigar perdas económicas.

Desta forma, os métodos de análise expedita da vulnerabilidade sísmica propostos pelo LNEC (2019) tornam-se ferramentas importantes, pois constituem um apoio na elaboração do relatório da avaliação da vulnerabilidade sísmica, para tipologias de edifícios existentes, localizações e tipos de intervenção específicos, e permitem avaliar a segurança sísmica de edifícios existentes de uma forma mais rápida e conservativa.

A aplicação destas metodologias, tem como referência a NP EN 1998-3 (2017). Contudo, devido à complexidade destes procedimentos, a avaliação da segurança sísmica é realizada com base em procedimentos alternativos simplificados, comparativamente aos da NP EN 1998-3 (2017), se forem cumpridos determinados requisitos.

No entanto, é de realçar a importância das análises não lineares na avaliação da segurança sísmica estrutural de edifícios existentes com fortes irregularidades, e o facto de constituírem análises mais

precisas na previsão do comportamento real requerido para determinada ação sísmica, pois têm em conta o comportamento inelástico do material, bem como, a não linearidade geométrica.

Existem duas tipologias de análises não lineares, que se caracterizam por análises estáticas não lineares e análises dinâmicas não lineares. Apesar da análise dinâmica não linear ser a metodologia mais realista na resposta da estrutura, sob a ação sísmica, não vai ser objeto de estudo nesta dissertação por necessitar de grandes recursos computacionais.

E, portanto, irá ser realizada a análise estática não linear, também denominada Pushover, que permite identificar, com precisão os membros críticos da estrutura que têm maior probabilidade de colapsar, na ocorrência de um sismo. Para além disso, uns dos principais objetivos desta análise é o de encontrar os limites de resistência dos elementos estruturais antes da ocorrência do colapso e determinar o deslocamento-alvo da estrutura, para um determinado estado limite, que representa o deslocamento a partir do qual se atinge a resistência máxima da estrutura. Nesse sentido, é necessário definir a curva de capacidade da estrutura, para assim, ser possível determinar a capacidade resistente do edifício.

Nesta dissertação, a análise Pushover vai ser analisada com recurso ao software SeismoStruct, onde irá ser usada a metodologia N2, proposto na NP EN 1998-1 (2010). Neste software a modelação da plasticidade irá recorrer ao modelo das fibras, onde irão ser consideradas as metodologias da não linearidade do material distribuído pelo elemento estrutural.

É importante referir que o relatório da avaliação da vulnerabilidade sísmica deve estabelecer a capacidade horizontal resistente do edifício, relativamente à ação sísmica representada no NP EN 1998-1 (2010), em percentagem da capacidade resistente exigida. É a partir das metodologias expeditas propostas pelo LNEC (2019) ou da análise estática não linear, que se obtém a capacidade resistente do edifício e a exigência dos seus elementos, relativamente ao esforço transversal cíclico e rotação da corda última para determinado estado limite de dano. Nesta dissertação estes esforços vão ser determinados para o estado limite de danos severos (SD).

1.2 OBJETIVOS

Nesta dissertação pretende-se avaliar a vulnerabilidade sísmica de um hotel existente em Lisboa, usando para isso as metodologias expeditas propostas pelo LNEC (2019), onde numa primeira fase irá ser verificado os critérios existentes na portaria nº 302/2019. Posteriormente, será realizado o relatório de avaliação da vulnerabilidade sísmica, através das metodologias expeditas propostas pelo LNEC (2019), nomeadamente os métodos I e II.

Através desta análise, verifica-se a necessidade ou dispensa de realização de um projeto de reforço sísmico.

De seguida, realizar-se-á uma análise estática não linear. A metodologia a aplicar a esta análise será o método N2, descrito na NP EN 1998-1 (2010).

Para proceder à análise estática não linear, serão utilizados dois programas de cálculo automático, nomeadamente o ROBOT e o SeismoStruct. Na análise estática não linear, pretende-se verificar o desempenho estrutural sísmico de um edifício remodelado para hotel, aplicando o preconizado na NP EN 1998-3 (2017).

Por fim, proceder-se-á a uma comparação dos dados obtidos entre as duas análises.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

O primeiro capítulo aborda os principais objetivos da presente tese, bem como uma breve introdução sobre os temas que irão ser abordados nos restantes capítulos.

No segundo capítulo, irá ser realizada uma introdução teórica das metodologias que irão ser aplicadas neste caso de estudo. Numa primeira fase irá ser apresentado os critérios de verificação do relatório de vulnerabilidade sísmica, bem como, os seus critérios de aplicabilidade na avaliação estrutural através dos métodos expeditos. Seguidamente, irá ser abordado a metodologia para realização da análise estática não linear.

No terceiro capítulo, será descrito o caso em estudo e determinado os dados necessários para utilização dos métodos a aplicar nos capítulos seguintes.

No quarto capítulo será verificado os critérios de aplicabilidade às metodologias expeditas I e II, descritas no relatório 81/2019 do LNEC (2019) e sua aplicação na avaliação sísmica do edifício em estudo.

No quinto capítulo, irá ser descrito o processo de modelação nos dois softwares usados, e será realizada uma análise estática não linear, onde irão ser obtidos os esforços regulamentares propostos, necessários para verificar a segurança sísmica.

O sexto capítulo, diz respeito às considerações finais, onde irão ser expostas as conclusões recolhidas das análises adotadas nos capítulos anteriores, nomeadamente a verificação da segurança sísmica e comparação de resultados. Além do referido, é realizada uma reflexão no que diz respeito ao comportamento obtido por determinados pilares.

2 AVALIAÇÃO SÍSMICA

2.1 REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS OU FRAÇÕES AUTÓNOMAS

Com a publicação Decreto-Lei n.º 95/2019, de 18 de julho, que estabelece o regime aplicável à reabilitação de edifícios ou frações autónomas, o Governo, no domínio da segurança estrutural, passou a definir as situações em que a reabilitação de edifícios ficou sujeita à elaboração de relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica e o eventual reforço dos edifícios, contribuindo deste modo para garantir que estas intervenções salvaguardem as questões de segurança estrutural.

Com esta nova legislação, passou-se a garantir que sempre que tiverem lugar obras em edifícios de elevada classe de importância em termos sísmicos, bem como quando sejam identificados sinais de degradação da estrutura, ou das quais resultem alterações estruturais ou de utilização, que é o caso em estudo, se proceda à avaliação da vulnerabilidade sísmica.

Este novo decreto-lei, surge em articulação com a substituição dos regulamentos estruturais nacionais existentes, pelos Eurocódigos Estruturais. Nesse sentido foram revogados os seguintes regulamentos:

- a) Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de maio, no que diz respeito à aplicação a estruturas para edifícios;
- b) Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, aprovado pelo Decreto –Lei n.º 349 - C/83, de 30 de julho, no que diz respeito à aplicação a estruturas de betão para edifícios;
- c) Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 211/86, de 31 de julho;
- d) Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos, aprovado pelo Decreto n.º 41658, de 31 de maio de 1958.

Esta alteração regulamentar, foi imprescindível para as medidas a adotar no domínio da vulnerabilidade sísmica, já que, quer as ações, quer a metodologia de análise e reforço passou a fazer-se pelos eurocódigos, nomeadamente as normas NP EN 1998 -1:2010 e a norma NP EN1998 -3:2017.

Resultante deste Decreto-Lei, foi publicada a portaria nº 302/2019 a 12 de setembro de 2019, que definiu os critérios a verificar para a elaboração do relatório da avaliação da vulnerabilidade sísmica, para edifícios sujeitos a alterações, reconstrução e ampliação.

2.2 PORTARIA N.º 302/2019

Com a publicação da portaria n.º 302/2019, de 12 de setembro de 2019, ficaram definidos os critérios a verificar para a elaboração do relatório da avaliação da vulnerabilidade sísmica, para edifícios sujeitos a alterações, reconstrução e ampliação.

A partir do artigo n.º 1 da presente portaria, são enumerados os respetivos critérios:

- Estão sujeitas à elaboração de relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica do edifício que estabeleça a sua capacidade de resistência relativamente à ação sísmica definida na NP EN1998 -3:2017 e suas posteriores atualizações para as condições do local, as obras de ampliação, alteração ou reconstrução, sempre que se verifique uma das seguintes condições:

- a) Existência de sinais evidentes de degradação da estrutura do edifício;
- b) Procedam ou tenham por efeito uma alteração do comportamento estrutural do edifício;
- c) Cuja área intervencionada, incluindo demolições e ampliações, exceda os 25 % da área bruta de construção do edifício;
- d) Cujo custo de construção exceda em pelo menos 25 % do custo de construção nova de edifício equivalente.

- O relatório de vulnerabilidade sísmica do edifício é ainda obrigatório, no caso de edifícios das classes de importância III ou IV, definidas nos termos da norma NP EN 1998 -1:2010, sempre que se verifique alguma das situações previstas no número anterior, com redução para 15 % dos limites estabelecidos nas alíneas c) e d).

- Quando o relatório de vulnerabilidade sísmica do edifício concluir que este não satisfaz as exigências de segurança relativas a 90 % da ação definida na norma NP EN1998 -3:2017, é obrigatória a elaboração de projeto de reforço sísmico, ao abrigo da mesma norma.

- Compete ao LNEC (2019) a publicação ou aprovação de disposições construtivas ou métodos de análise expedita da vulnerabilidade sísmica que apoiem a elaboração do relatório previsto no n.º 1 do presente artigo, para tipologias de edifícios, localizações e tipos de intervenção específicos.

Do acima exposto, torna-se necessário definir a classificação do tipo de classe de importância associada ao edifício, a área a ser intervencionada e a área bruta. Estas áreas assumem grande importância para a verificação dos critérios, sendo que a área intervencionada é definida como a área onde vai ser necessário reabilitar, enquanto que a área bruta, a superfície total medida pelo perímetro exterior e eixos das paredes ou outros elementos separadores do edifício ou da fração, inclui varandas privativas, caves e sótãos privativos com utilização idêntica à do edifício.

Relativamente ao custo de construção nova do edifício equivalente, foi consultada a Portaria n.º 310/2021, onde se define o valor atual médio de construção por metro quadrado.

Para além disso, deve-se ter em atenção que basta que um dos critérios seja verificada, para se ter de proceder à elaboração do respetivo relatório, bem como, apenas será necessário a elaboração do projeto de reforço sísmico dos edifícios, nos casos em que o edifício não garanta a segurança de 90 % da ação sísmica.

2.3 METODOLOGIA PARA A AVALIAÇÃO SÍSMICA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES EM BETÃO ARMADO

As metodologias propostas no relatório 81/2019 do LNEC (2019) são constituídas por 4 métodos, caracterizados por método I, II, III e IV.

Os métodos I e II são métodos mais simples de aplicar, pois são determinados com base nas propriedades mecânicas e geométrica dos elementos estruturais. Os métodos III e IV, são métodos mais desenvolvidos e mais precisos, sendo o método III o método de referência, usado na NP EN 1998-3 (2017) e o método IV um método probabilístico.

Para que seja possível a aplicação destas metodologias, é necessário que os edifícios obedeçam a determinados critérios descritos no relatório 81/2019 do LNEC (2019).

2.3.1 CRITÉRIOS DE APLICABILIDADE

Estes critérios de aplicabilidade têm o intuito de restringir edifícios que tenham comportamentos dinâmicos diferentes, para que seja possível a previsão da sua resposta face à ação sísmica.

A aplicação das metodologias expedidas (Método I e II) encontra-se limitada a edifícios que satisfaçam determinados pré-requisitos conforme ilustrado na Fig. 1.

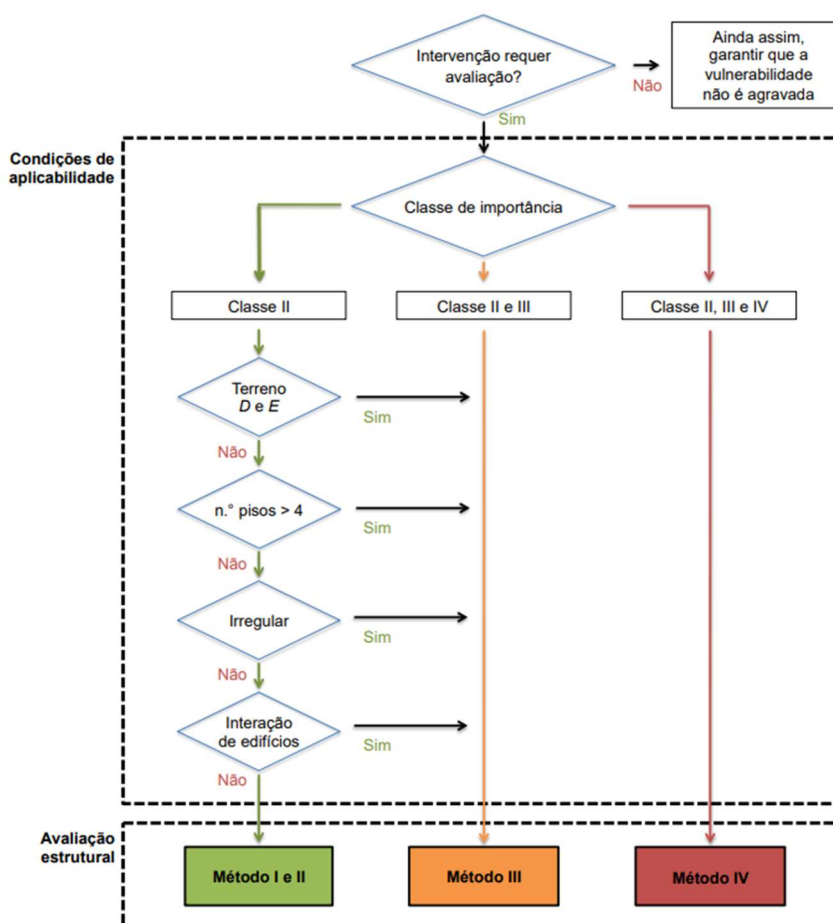


Fig. 1 – Fluxograma para a avaliação da segurança sísmica de edifícios existentes (LNEC (2019) - Relatório 81/2019)

Deste modo, deverá ser tido em conta as condições a seguir enumeradas.

2.3.2 CLASSE DE IMPORTÂNCIA

Para ser possível a aplicabilidade destas metodologias (Método I e II), os edifícios terão que pertencer às classes de importância I ou II.

As classes de importância adotadas no LNEC (2019) - Relatório 81/2019, são idênticas às consideradas na NP EN 1998-1 (2010), e encontram-se representadas na tabela seguinte:

Tabela 1 - Classe de importância para edifícios (LNEC (2019) - Relatório 81/2019)

Classe de importância	Edifícios	Métodos propostos
I	Edifícios de importância menor para a segurança pública, como por exemplo edifícios agrícolas, etc.	Todos
II	Edifícios correntes não pertencentes às outras categorias.	
III	Edifícios cuja resistência sísmica é importante atendendo às potenciais consequências associadas ao seu colapso, como por exemplo escolas, salas de reunião, instituições culturais, etc.	Método III e IV
IV	Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a proteção civil, como por exemplo hospitais, quartéis de bombeiros, centrais elétricas, etc.	

2.3.3 NÚMERO DE PISOS

Existe uma limitação, para a aplicação dos métodos I e II, relativamente ao número de pisos e área de implantação.

Importa referir, que no relatório, é apresentada a definição de “pisso” como um plano sobreposto acima da cota do terreno. Logo, caves ou subcaves, não serão analisadas por estes métodos.

A limitação associada ao número de pisos, corresponde a edifícios com 4 pisos, como valor máximo. Relativamente à área de implantação, esta não poderá exceder os 400 m².

2.3.4 REGULARIDADE ESTRUTURAL

As estruturas que apresentem pilares curtos, são excluídas da aplicação dos métodos I e II, devido a constituírem elementos mais propensos a um comportamento frágil, e desse modo, conduzir a estrutura à instabilidade global.

Desta forma, são apresentados dois métodos para a definição de pilares curtos, segundo o relatório 81/2019 do LNEC (2019), sendo eles, o método japonês e o método de acordo com Priestley. Estes métodos dependem da geometria dos pilares e da interação de esforços entre elementos estruturais, de acordo com a expressão (1), podendo, no entanto, ser usada uma expressão simplificada (2), que permite chegar à mesma conclusão.

$$\frac{M}{Vh} \leq 2,5 \quad (1)$$

Em que:

h - largura do elemento, que corresponde à maior dimensão da secção transversal;

M , V - esforços atuantes nas extremidades dos elementos verticais.

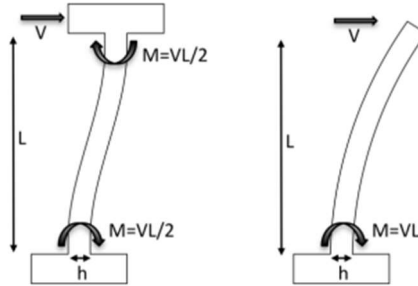


Fig. 2 – Definição de pilares curtos para diferentes condições de fronteira (LNEC (2019) - Relatório 81/2019)

$$\frac{L}{2h} \text{ ou } \frac{L}{h} \quad (2)$$

Nesta expressão simplificada, a altura livre assume valores diferentes dependendo das condições de apoio dos pilares, sendo que, em elementos bi-encastados, a relação a adotar corresponde a $\frac{L}{2h}$, enquanto que para elementos em consola, assume a expressão $\frac{L}{h}$.

De acordo com o método Japonês, um pilar é designado como pilar curto quando a relação entre a sua altura livre e a largura do elemento for igual ou inferior a 2, enquanto que no método Priestley, este valor terá de ser igual ou inferior a 3.

Na presente dissertação vão ser verificados as relações para a média dos limites entre os dois métodos apresentados, correspondendo ao limite de 2,5, tal como foi adotado no relatório 81/2019 do LNEC (2019).

De forma complementar, a regularidade dos edifícios também depende da sua regularidade em planta e em altura, conforme definido na NP EN 1998-1 (2010).

2.3.5 REGULARIDADE EM PLANTA

Para que um edifício seja considerado regular em planta, deve obedecer a cada um dos seguintes critérios:

- No que se refere à rigidez horizontal e à distribuição de massas, a estrutura do edifício deve ser aproximadamente simétrica em planta em relação a dois eixos ortogonais;
- A configuração em planta deve ser compacta, isto é, deve ser delimitada, em cada piso, por uma linha poligonal convexa. Se existirem recuos em relação a essa linha (ângulos reentrantes ou bordos recuados), poderá considerar-se que existe regularidade em planta se esses recuos não afetarem a rigidez do piso no plano e se, para cada um deles, a área entre o contorno do piso e a linha poligonal convexa que o envolve não ser superior a 5 % da área do piso;

- c) A rigidez dos pisos no plano deve ser suficientemente grande em relação à rigidez horizontal dos elementos estruturais verticais, para que a deformação do piso tenha um efeito reduzido na distribuição das forças entre os elementos. Assim, as formas L, C, H, I e X em planta deverão ser cuidadosamente examinadas, em particular no que diz respeito à rigidez dos ramos laterais salientes, que deverá ser comparável à da parte central, de forma a satisfazer a condição de diafragma rígido;
- d) A esbelteza $\lambda = L_{\max}/L_{\min}$ do edifício em planta não deve ser superior a 4, em que $L_{\max}$ e $L_{\min}$ são, respetivamente, a maior e a menor dimensão em planta do edifício, medidas em direções ortogonais;
- e) A cada nível, e para cada direção de cálculo x e y, a excentricidade estrutural e o raio de torção devem verificar as duas condições seguintes, para a direção x e y:

$$e_{ox} \leq 0,30r_x \quad (3)$$

$$r_x \geq l_s \quad (4)$$

Em que:

e_{ox} – distância entre o centro de rigidez e o centro de gravidade, medida segundo a direção x, perpendicular à direção de cálculo considerada;

r_x – raiz quadrada da relação entre a rigidez de torção e a rigidez horizontal na direção y (“raio de torção”);

l_s – raio de giração da massa do piso em planta (raiz quadrada do quociente entre o momento polar de inércia da massa do piso em planta em relação ao seu centro de gravidade, e, a massa do piso)

Sendo assim, são calculados estes critérios aplicando as seguintes fórmulas:

Para a determinação do raio de torção em x:

$$r_x = \sqrt{\frac{\sum(x^2k_y + y^2k_x)}{\sum k_{y,i}}} \quad (5)$$

Em que o k_x , k_y corresponde à rigidez horizontal dos elementos verticais em x e y, respetivamente, sendo que se esses elementos estiverem em consola assumem o valor resultante da expressão:

$$k_x = \frac{3El_y}{l^3} \quad (6)$$

Enquanto que se as suas condições fronteiras forem aproximadamente bi-encastados, assumem o valor resultante da expressão:

$$k_x = \frac{12El_y}{l^3} \quad (7)$$

Quanto ao raio de giração de massa do piso em planta, foi usada a seguinte expressão, para cada direção x e y. Deste modo, o cálculo da inércia foi obtido pela aplicação do teorema de Steiner.

$$l_{s,y} = \sqrt{\frac{l_{o,y}}{M}} \quad (8)$$

2.3.6 REGULARIDADE EM ALTURA

Para que um edifício seja considerado regular em planta, deve obedecer a cada um dos seguintes critérios:

- Todos os sistemas resistentes a ações horizontais, tais como núcleos, paredes estruturais ou pórticos, devem ser contínuos desde a fundação até ao topo do edifício ou, se existirem andares recuados a diferentes alturas, até ao topo da zona considerada no edifício;
- A rigidez lateral e a massa de cada piso devem permanecer constantes ou apresentarem uma redução gradual, sem alterações bruscas, desde a base até ao topo do edifício;
- Em edifícios com estrutura porticada, a relação entre a resistência real do piso e a resistência exigida pelo cálculo não deverá variar desproporcionadamente entre pisos adjacentes;
- Quando o edifício apresenta recuos aplicam-se as seguintes condições adicionais:
 - No caso de sucessivos recuos que mantêm uma simetria axial, o recuo em qualquer piso não deve ser superior a 20 % da dimensão em planta do nível inferior na direção do recuo (ver a Fig. 3(a) e Fig. 3(b));
 - No caso de um único recuo localizado nos 15 % inferiores da altura total do sistema estrutural principal, o recuo não deve ser superior a 50 % da dimensão em planta do nível inferior (ver a Fig. 3(c));
 - No caso de recuos não simétricos, a soma, em cada lado, dos recuos de todos os pisos não deve ser superior a 30 % da dimensão em planta ao nível do piso acima da fundação ou acima do nível superior de uma cave rígida, e cada recuo não deve ser superior a 10 % da dimensão em planta do nível inferior (ver a Fig. 3(d)).

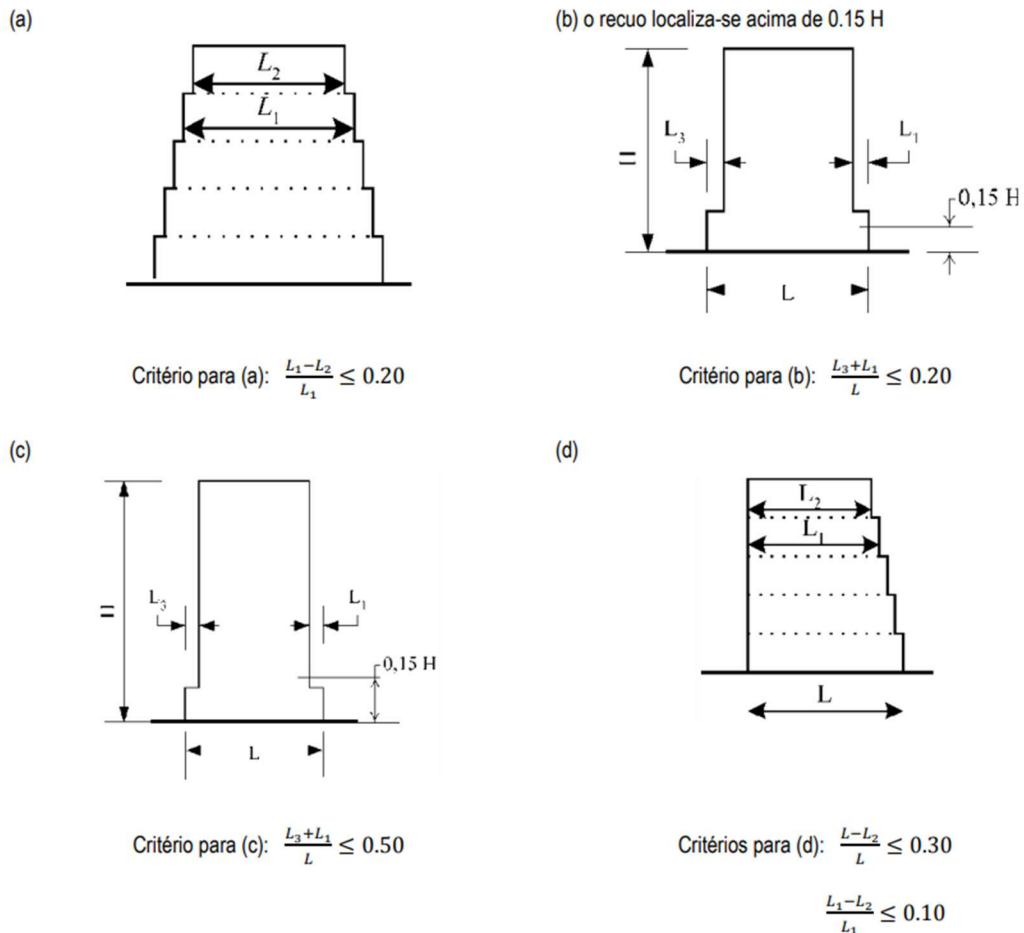


Fig. 3 - Critérios de regularidade dos edifícios com recuos (NP EN 1998-1 (2010))

2.3.7 INTERAÇÕES COM EDIFÍCIOS ADJACENTES

Os critérios relativos a interações com edifícios adjacentes não são aplicáveis a edifícios isolados, ou a edifícios em que a presença de juntas estruturais permita a deformação lateral adequada.

Por isso, os critérios descritos abaixo, apenas são verificados em edifícios em banda ou de gaveto, onde as juntas estruturais não permitem o comportamento dinâmico independente entre os dois corpos adjacentes:

- Alinhamento entre lajes de edifícios adjacentes apresente um valor superior aos demonstrados na Fig. 4;

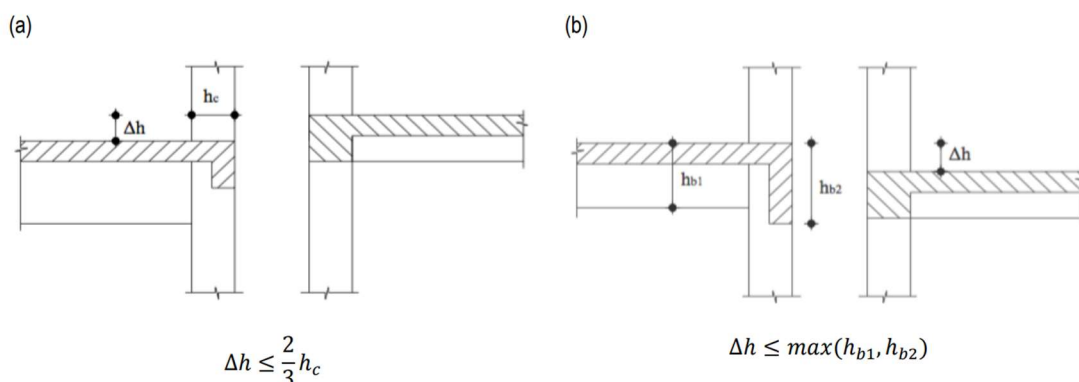


Fig. 4 - Disposições para avaliar a interação com edifícios adjacentes (LNEC (2019) - Relatório 81/2019)

- A altura do edifício adjacente possuir uma altura igual ou inferior a 50 % do edifício a ser analisado.

Relativamente a edifícios com juntas estruturais, para que se possa desprezar os efeitos da interação de edifícios adjacentes, esta dimensão deve ser inferior à raiz quadrada da soma dos quadrados do deslocamento de cada um dos edifícios. Contudo, só é necessário proceder a essa verificação no caso em que as condições de alinhamento entre lajes e alturas de edifícios não sejam verificadas.

2.3.8 CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS LOCAIS

Existem limitações relativamente às condições geotécnicas em que o edifício se situa. Para que seja possível a aplicabilidade dos métodos expeditos I e II, o tipo de terreno onde se insere o edifício terá de ser do tipo A, B ou C.

Os tipos de terreno a que o relatório se refere são os definidos na NP EN 1998-1 (2010), de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de terrenos (NP EN 1998-1 (2010))

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (pancadas/30 cm)	c_u (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	> 800	–	–
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rijas, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	360 – 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Depósitos de solos não coesivos de compactidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de v_s do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_s > 800$ m/s			
S_1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade ($PI > 40$) e um elevado teor em água	< 100 (indicativo)	–	10 - 20
S_2	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A – E ou S_1			

2.4 METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL EM RELAÇÃO À AÇÃO SÍSMICA

As metodologias usadas na avaliação da segurança estrutural, face à ação sísmica foram resultado de um estudo do comportamento sísmico do edificado em Portugal, através de uma análise das curvas de capacidade dos respetivos edifícios.

Deste modo, foram desenvolvidas expressões que obtiveram o coeficiente sísmico para edifícios existentes em betão armado, associado a diferentes zonas sísmicas. Essas expressões são dependentes das propriedades geométricas dos elementos estruturais (método II), ou das propriedades mecânicas (método I).

Importa realçar que estes métodos propostos apresentam avaliações mais conservativas, quanto mais simplificado for o respetivo método.

Para além disso, esta avaliação não tem em consideração a influência das vigas para a resistência sísmica, pois destina-se a definir procedimentos de caráter mais geral dos edifícios, tornando-se os pilares elementos fundamentais para garantir a estabilidade da estrutura.

No âmbito das avaliações expeditas, foi determinado a segurança tendo em conta o estado limite de danos severos, pois corresponde ao instante onde se atingem as resistências máximas da estrutura às forças horizontais.

2.4.1 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA SÍSMICA DE ACORDO COM O MÉTODO II

A avaliação da segurança estrutural é analisada tendo em conta o coeficiente sísmico exigido, e o coeficiente sísmico que estima a capacidade do edifício. O coeficiente sísmico exigido toma valores diferentes face à perigosidade sísmica e o nível de piso que se está a analisar. Enquanto que, o coeficiente sísmico expresso em termos de capacidade, depende das propriedades mecânicas dos elementos estruturais.

Nesse sentido, é verificada a segurança quando é satisfeita a expressão seguinte, para cada piso do edifício.

$$CS_{C,j} \geq CE_{E,j} \quad (9)$$

Em que:

$CS_{C,j}$ - coeficiente sísmico que quantifica a capacidade do edifício;

$CE_{E,j}$ - coeficiente sísmico exigido.

A expressão que determina o coeficiente sísmico que quantifica a capacidade do edifício é expressa pela seguinte expressão:

$$CS_{Cj} = \frac{V_{H,j}}{W_E} \quad (10)$$

Onde:

$V_{H,j}$ - resistência para forças horizontais de todos os elementos estruturais de um determinado piso j;

W_E - peso total do edifício correspondente à combinação sísmica de ações.

Por sua vez, o W_E é determinado pela expressão:

$$W_E = \sum_{j=1}^n (W_{E,j} A_{S,j}) \quad (11)$$

Onde:

$W_{E,j}$ - peso por unidade de área resultante da combinação sísmica de ações;

$A_{S,j}$ - área associado ao piso j.

Através da expressão definida no NP EN 1998-1 (2010), consegue-se determinar o valor de cálculo da ação sísmica combinada com outras ações:

$$w_{E,j} = \sum G_{k,j} + \sum \Psi_{E,i} \cdot Q_{K,i} \quad (12)$$

Em que:

$\sum G_{k,j}$ - somatório associadas à massa de todas as forças gravíticas;

$\Psi_{E,i}$ - coeficiente de combinação para o cálculo de esforços sísmicos, que tem em conta a possibilidade de as cargas $Q_{K,i}$ não estarem presentes em toda a estrutura na presença do sismo;

$Q_{K,i}$ - cargas variáveis.

Adicionalmente, os coeficientes de combinação para o cálculo de esforços sísmicos, de acordo com o NP EN 1998-1 (2010), devem ser determinados segundo a expressão seguinte:

$$\Psi_{E,i} = \varphi \cdot \Psi_{2i} \quad (13)$$

Onde:

φ - São valores dependentes das categorias definidas na EN 1991-1-1, apresentados no Quadro 2.

Ψ - Coeficientes de combinação, para o valor quase-permanente da ação variável Q_i , para o projeto de edifícios, indicados no anexo da EN 1990:2002, apresentados no Quadro 3.

Quadro 2 - Valores de φ para calcular Ψ_{Ei}

Tipo de ação variável	Piso	φ
Categorias A-C*	Cobertura	1,0
	Pisos com ocupações correlacionadas	0,8
	Pisos com ocupações independentes	0,5
Categorias D-F* e arquivos		1,0

* Categorias definidas na EN 1991-1-1:2002.

Quadro 3 – Valores recomendados dos coeficientes ψ para edifícios (NP EN 1990 (2009))

Ação	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecargas em edifícios (ver a EN 1991-1-1)			
Categoria A: zonas de habitação	0,7	0,5	0,3
Categoria B: zonas de escritórios	0,7	0,5	0,3
Categoria C: zonas de reunião de pessoas	0,7	0,7	0,6
Categoria D: zonas comerciais	0,7	0,7	0,6
Categoria E: zonas de armazenamento	1,0	0,9	0,8
Categoria F: zonas de tráfego, peso dos veículos ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Categoria G: zonas de tráfego, $30 \text{ kN} < \text{peso dos veículos} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
Categoria H: coberturas	0	0	0
Acção da neve em edifícios (ver a EN 1991-1-3) ^{*)}			
– Finlândia, Islândia, Noruega, Suécia	0,70	0,50	0,20
– Restantes Estados-Membros do CEN, para obras localizadas à altitude $H > 1000$ m acima do nível do mar	0,70	0,50	0,20
– Restantes Estados-Membros do CEN, para obras localizadas à altitude $H \leq 1000$ m acima do nível do mar	0,50	0,20	0
Acção do vento em edifícios (ver a EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (excepto incêndio) em edifícios (ver a EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NOTA: Os valores de ψ poderão ser definidos no Anexo Nacional.			
*) Para os países não mencionados, considerar as condições locais relevantes.			

A capacidade de cada elemento vertical, é calculada tendo em conta o valor mínimo entre a estimativa da resistência associada à possibilidade de se desenvolver mecanismos de flexão ($V_{F,j}$) e de corte ($V_{C,i}$):

$$V_{H,j} = \sum_{j=1}^n \min(V_{F,j}, V_{C,i}) \quad (14)$$

Sendo n, o conjunto de todos os elementos verticais existentes em cada piso j.

2.4.1.1 Resistência para forças horizontais associada ao mecanismo de flexão dos elementos verticais.

A expressão relativa à rotação de corda última, representada na NP EN 1998-3 (2017), é tida como referência para a obtenção da resistência para forças horizontais associada ao mecanismo de flexão dos elementos verticais. O valor da resistência relativa à corda última, a que foi aplicado as simplificações necessárias para a aplicação dos métodos expeditos, foi ainda multiplicado por $\frac{3}{4}$. Este valor é o adotado no NP EN 1998-3 (2017) para o cálculo da resistência referente à corda última, para a verificação da segurança sísmica atendendo ao Estado Limite de Danos Severos (SD).

A estimativa desta resistência é calculada a partir da expressão seguinte, para cada elemento vertical:

$$V_{F,i} = 1,24 \left(\frac{b_i h_i^2 \rho_{l,i} f_{yl}}{L_{v,i}} \right)^{0,73} \quad (15)$$

Onde:

b_i, h_i - largura e altura da secção transversal do pilar i;

$\rho_{l,i}$ - taxa total da armadura longitudinal do pilar i;

f_{yl} - valor médio da tensão de cedência das armaduras longitudinais dos pilares;

$L_{v,i}$ - distância entre a extremidade dos pilares e o ponto de inflexão.

É de referir que o $L_{v,i}$ assume o valor de $\frac{1}{2}$ da altura livre do elemento vertical, se for considerado aproximadamente bi-encastado, enquanto que em elementos em consola este valor será igual à altura do mesmo.

2.4.1.2 Resistência para forças horizontais associada ao mecanismo de corte dos elementos verticais

No cálculo desta resistência, recorreu-se à expressão da resistência ao esforço transversal cíclico proposto no NP EN 1998-3 (2017).

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\frac{h-x}{2L_v} \min(N, 0.55 A_c f_c) + (1 - 0.55 \min(5, \mu_{\Delta}^{pi})) \cdot \left[0.16 \max(0.5, 100 \rho_{tot}) \left(1 - 0.16 \min\left(5, \frac{L_v}{h}\right) \right) \sqrt{f_c} A_c + V_w \right] \right] \quad (16)$$

No entanto, a partir de várias simplificações e suposições de propriedades dos edificios analisados durante o desenvolvimento do relatório 81/2019, o LNEC (2019), adotou às parcelas $N, \mu_{\Delta}, \rho_{tot}, f_c, V_w$, valores desfavoráveis, tendo em conta as similaridades dos edificios analisados. É de realçar que os

valores tomados para esses parâmetros, foram revistos tendo como objetivo que a expressão fosse conservativa.

Assim, foi obtido a seguinte expressão simplificada:

$$V_{c,i} = 0.87A_{c,i} \left(\tau_c \left[1 - 0.16 \min \left(5, \frac{L_{v,i}}{h_i} \right) \right] \right) + \rho_{w,i} f_{yw} \quad (17)$$

Em que:

$A_{c,i}$ – área da secção transversal do elemento vertical i ;

τ_c – tensão de corte equivalente associada a mecanismos de corte, com o valor de 0,24 MPa.

$L_{v,i}$ – distância entre a extremidade dos elementos verticais e o ponto de inflexão (considera-se $L_{v,i}$ igual a $\frac{1}{2}$ altura livre, quando aproximadamente bi-encastado, ou à altura, quando em consola);

h_i – dimensão da secção transversal segundo a direção de carga em consideração;

$\rho_{w,i}$ – taxa total da armadura transversal do elemento i ;

f_{yw} – valor médio da tensão de cedência das armaduras transversais.

Após a obtenção do valor mínimo entre a resistência ao corte e à flexão, é possível calcular o coeficiente sísmico que quantifica a capacidade do edifício para cada piso.

Relativamente à determinação do coeficiente sísmico exigível, o mesmo foi estabelecido tendo em conta o tipo de terreno e número de pisos, para a zona sísmica em causa, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Coeficiente sísmico exigido no piso 1 (LNEC (2019) - Relatório 81/2019)

Zona Sísmica	1 piso			2 pisos			3 pisos			4 pisos			
	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	
1.1	0.26	0.37	0.45	0.24	0.32	0.39	0.22	0.29	0.35	0.22	0.27	0.32	Sismo afastado Continente
1.2	0.19	0.28	0.35	0.18	0.25	0.31	0.17	0.23	0.28	0.16	0.22	0.26	
1.3	0.12	0.19	0.24	0.12	0.18	0.22	0.11	0.17	0.20	0.11	0.16	0.19	
1.4	0.06	0.11	0.14	0.07	0.10	0.13	0.06	0.10	0.12	0.06	0.09	0.12	
1.5	0.02	0.05	0.06	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.06	
1.6	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	
2.1	0.14	0.22	0.26	0.12	0.16	0.19	0.10	0.13	0.15	0.08	0.10	0.12	Sismo próximo Açores
2.2	0.09	0.15	0.19	0.08	0.12	0.15	0.06	0.10	0.12	0.05	0.07	0.09	
2.3	0.05	0.09	0.12	0.05	0.08	0.10	0.04	0.07	0.08	0.04	0.05	0.07	Sismo próximo Continente
2.4	0.02	0.04	0.06	0.02	0.04	0.06	0.02	0.03	0.05	0.01	0.03	0.04	
2.5	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	

Porém, podem existir danos locais nos diferentes pisos de um edifício, pelo facto de apresentarem redução da secção dos pilares em altura. Assim, os métodos expeditos supõem este comportamento e, por isso, definem um coeficiente, η , em função do número de pisos. Deste modo, é possível determinar o coeficiente exigido para cada piso do edifício em análise, através da expressão:

$$CS_{E,j} = \eta_j CS_E \quad (18)$$

Onde os valores de η encontram-se representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente η em função do número de pisos do edifício e do piso em análise (LNEC (2019) - Relatório 81/2019)

Piso	Número de pisos do edifício			
	4	3	2	1
4	0.40	-	-	-
3	0.70	0.50	-	-
2	0.90	0.83	0.67	-
1	1.00	1.00	1.00	1.00

Assim, comparam-se os valores dos coeficientes sísmicos obtidos e determina-se a segurança sísmica do edifício.

2.4.2 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA SÍSMICA DE ACORDO COM O MÉTODO I

A avaliação da segurança sísmica, com base neste método, é baseada na comparação entre a percentagem de área de pilares exigida em relação à área do piso j ($A_{PE,j}$), com a percentagem de área de pilares existente no mesmo piso ($A_{PC,j}$).

Sendo que o edifício verifica a segurança se for satisfeita a expressão seguinte:

$$A_{PC,j} \geq A_{PE,j} \quad (19)$$

A partir dos valores determinados para o coeficiente exigido, pelo método II, é possível determinar a área de pilares exigida, para cada piso, de modo a atender a um determinado coeficiente sísmico exigido através da expressão:

$$A_{PE} = \frac{CS_E n w_E}{\tau_{MI}} \quad (20)$$

Sendo:

n – número de pisos existentes no edifício;

τ_{MI} – tensão transversal equivalente;

w_E – peso por unidade de área resultante da combinação sísmica de ações.

É de notar que, w_E foi determinada apenas para o conjunto de cargas gravíticas. Contudo, a tensão transversal equivalente foi calculada, tomando como base os valores de resistência às forças horizontais dos elementos verticais, calculados a partir do método II:

$$\tau_{MI,i} = \frac{\min(V_{F,i}, V_{C,i})}{A_{p,i}} \quad (21)$$

Nesse sentido, os métodos expeditos apresentam margens de segurança, relativamente ao método de referência descrito na norma.

Com base nos valores obtidos pela tensão transversal equivalente, executa-se uma média de todos os pilares existentes, para cada piso, para assim, se determinar a área de pilares exigida no piso j . Após a realização dos passos apresentados, foi determinado pelo LNEC (2019), a percentagem de área de pilares exigido, em função da área de implantação do edifício, que toma valores diferentes consoante a zona sísmica, tipo de terreno e tipo de ação sísmica consideradas na avaliação do edifício. É de referir que

esta área mencionada, está apresentada no relatório 81/2019 sob a forma de tabela, conforme abaixo representada.

Quadro 5 - Valores exigidos de área de pilares, em percentagem da área de implantação dos edifícios por zona sísmica e tipo de terreno (LNEC (2019) - Relatório 81/2019)

Zona Sísmica	1 piso			2 pisos			3 pisos			4 pisos			
	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	Terreno A	Terreno B	Terreno C	
1.1	0.9	1.2	1.5	1.6	2.1	2.6	2.2	2.9	3.5	2.9	3.6	4.3	Sismo afastado Continente
1.2	0.6	0.9	1.2	1.2	1.7	2.0	1.7	2.3	2.8	2.2	2.9	3.5	
1.3	0.4	0.6	0.8	0.8	1.2	1.5	1.1	1.6	2.0	1.5	2.1	2.5	
1.4	0.2	0.3	0.5	0.4	0.7	0.9	0.6	1.0	1.2	0.8	1.3	1.6	
1.5	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.5	0.6	0.4	0.6	0.8	
1.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.3	0.4	
2.1	0.5	0.7	0.9	0.8	1.1	1.3	1.0	1.3	1.5	1.0	1.3	1.6	Sismo próximo Açores
2.2	0.3	0.5	0.6	0.5	0.8	1.0	0.6	0.9	1.2	0.7	1.0	1.2	
2.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.5	0.7	0.4	0.7	0.8	0.5	0.7	0.9	Sismo próximo Continente
2.4	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4	0.2	0.3	0.5	0.2	0.4	0.5	
2.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	

De igual forma, ao método II, são fornecidos coeficientes apresentados na Tabela 2, a aplicar a cada piso para a obtenção da percentagem de área de pilares exigida por piso, nos quais irão ser aplicados na fórmula:

$$A_{PE,j} = \eta_j A_{PE} \quad (22)$$

Relativamente à percentagem da área de pilares existentes no piso, é calculada a partir do rácio entre o somatório de todo os pilares existentes num piso, com a área pertencente ao piso.

Deste modo, é possível proceder à comparação entre a área existente obtida e a área apresentada no Quadro 5 afetada pelos respetivos coeficientes, e assim verificar a vulnerabilidade sísmica.

2.5 ANÁLISE PUSHOVER

A análise pushover, é uma análise estática não linear, onde serão aplicadas forças gravíticas constantes e cargas horizontais de crescimento monótono. Esta análise é capaz, segundo a NP EN 1998-1 (2010), de proceder à verificação do desempenho estrutural de edifícios existentes, tendo aplicação:

- verificar ou rever os valores do coeficiente de sobrerresistência $\alpha u / \alpha 1$;
- avaliar os mecanismos plásticos previstos e a distribuição de danos;
- avaliar o desempenho estrutural de edifícios existentes ou reabilitados, para efeitos da NP EN 1998-3 (2017);
- como alternativa ao cálculo baseado numa análise elástica linear utilizando o coeficiente de comportamento q .

Contudo, esta dissertação seguirá principalmente, a avaliação do desempenho estrutural de edifícios existentes ou reabilitados, para efeitos da NP EN 1998-3 (2017).

Como referências bibliográficas principais utilizadas para esta análise, referem-se entre outras: Barros e Almeida (2005), Cesar e Barros (2009), Valdir Pereira (2009), Barros *et al.* (2009), Barros e Cesar (2010), Barros, Cesar *et al.* (2013-a; 2013-b).

2.5.1 CARGAS LATERAIS:

As cargas laterais, assumem um papel importante nesta análise, devido à influência que têm na resposta estrutural à ação sísmica.

Deste modo, é proposto pelo NP EN 1998-1 (2010) a aplicação de duas distribuições de cargas laterais:

- distribuição “uniforme”, baseada em forças laterais proporcionais à massa independentemente da altura;
- distribuição “modal”, proporcional às forças laterais correspondentes à distribuição das forças laterais na direção considerada, determinada na análise elástica.

As cargas laterais necessitam de estar aplicadas nas zonas de modelação das massas. Também se deve ter em conta para o centro de massa do piso i , a excentricidade accidental, associada aos efeitos accidentais de torção, pela expressão seguinte, para cada direção:

$$e_{ai} = \pm 0,05 \cdot L_i \quad (23)$$

Em que:

e_{ai} - excentricidade accidental da massa do piso i em relação à sua localização nominal;

L_i - dimensão do piso na direção perpendicular à direção da ação sísmica.

2.5.2 ESTIMATIVA DOS EFEITOS DE TORÇÃO

Em estruturas torsionalmente flexíveis, onde o primeiro modo de vibração é de torção, as distribuições das forças laterais na análise Pushover pode subestimar as deformações do lado mais rígido/mais resistente. Desse modo, deve-se amplificar os deslocamentos do lado mais rígido/mais resistente.

Estruturas torsionalmente flexíveis são estruturas que não possuem uma rigidez à torção mínima, ou seja, não obedecem à seguinte expressão:

$$r_x \geq l_s \quad (24)$$

Onde:

r_x - raiz quadrada da relação entre a rigidez de torção e a rigidez lateral na direção y ;

l_s - raio de giração da massa do piso em planta.

2.5.3 MÉTODO N2

O procedimento adotado para a avaliação da exigência sísmica nesta dissertação é o método N2, proposto no NP EN 1998-1 (2010).

Este método foi proposto por Fjfar em 1988, e é um método simplificado que permite analisar a resposta sísmica das estruturas, considerando a deformação pós-elástica dos seus materiais.

Em seguida, são apresentadas as etapas necessárias à aplicação desta análise. O primeiro passo desta análise, é o de proceder à modelação numérica das propriedades dos materiais, atendendo à sua não linearidade.

Para definir a ação sísmica, recorre-se a um espectro de resposta elástico, para uma dada zona sísmica e tipo de terreno. O espectro de resposta que se aplica nesta análise tem o formato ADRS (Acceleration

Displacement Response Spectrum), onde os valores esperais de deslocamento são estabelecidos em função dos valores espectrais de aceleração, dado pela seguinte expressão:

$$S_{De}(T) = S_e(T) \left[\frac{T}{2\pi} \right]^2 \quad (25)$$

Posteriormente, é determinada a curva de capacidade, que traduz a relação entre a força de corte na base, com o deslocamento do nó de controlo, localizado no topo do edifício. Este deslocamento de controlo deve, segundo a NP EN 1998-1 (2010), estar situado no centro de gravidade da cobertura. Adicionalmente, a curva de capacidade obtida deverá possuir um deslocamento controlo entre 0 e 150 % do deslocamento-alvo.

Por sua vez, a obtenção do deslocamento-alvo, é determinado a partir dos espectros de resposta elástica em termos de deslocamento de um sistema equivalente com um grau de liberdade, com o propósito de definir a exigência sísmica.

Importa referir que é necessário arbitrar um valor para o deslocamento controlo no início da análise, para se conseguir obter a curva de capacidade. Contudo, é fundamental verificar se o deslocamento controlo arbitrado, está entre o intervalo descrito para a validação da curva de capacidade.

Após a obtenção da curva de capacidade, para n graus de liberdade, a etapa seguinte passa pela determinação do deslocamento-alvo. Para concretização deste passo, deve determinar-se a curva de capacidade para o sistema equivalente de um grau de liberdade, sendo possível através do uso do coeficiente de transformação Γ , obtido pela expressão (27):

$$m^* = \sum m \Phi_i = \sum F_i \quad (26)$$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m \Phi_i^2} = \frac{\sum F_i}{\sum \left(\frac{F_i^2}{m_i} \right)} \quad (27)$$

Em que:

m^* - massa de um sistema equivalente com um só grau de liberdade, calculado a partir da primeira equação;

m_i - massa de cada piso i ;

Φ_i - deslocamentos para cada piso i , normalizados pelo deslocamento do nó de controlo;

F_i - forças laterais normalizadas.

Assim, obtém-se a força F^* e o deslocamento d^* do sistema equivalente com um grau de liberdade através das expressões:

$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma} \quad (28)$$

$$d^* = \frac{d_n}{\Gamma} \quad (29)$$

Onde F_b , corresponde às forças de corte na base e d_n , o deslocamento do nó de controlo, do sistema com vários graus de liberdade.

De seguida, é necessário determinar a relação idealizada força/deslocamento elástica perfeitamente plástica. Assim, numa primeira fase determina-se a força de cedência, F_y^* , que caracteriza a resistência última, e toma o valor da força de corte na base para a geração do mecanismo plástico, dividida pelo

coeficiente de transformação. Relativamente à rigidez representada pela parte elástica do sistema idealizado, é calculada tendo por base que as áreas entre as curvas correspondentes ao sistema idealizado e real sejam iguais.

Nesse sentido, é possível estabelecer o deslocamento no limite de plasticidade do sistema idealizado com um só grau de liberdade d_y^* , determinado através da expressão:

$$d_y^* = 2 \left(d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*} \right) \quad (30)$$

Posteriormente, obtém-se a curva da relação idealizada força/deslocamento elasto-perfeitamente plástica, representada na Fig. 5.

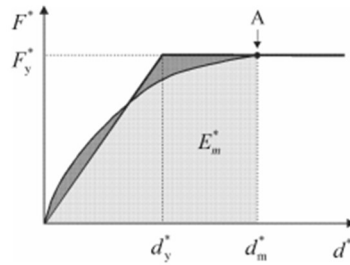


Fig. 5 - Determinação da relação idealizada força/deslocamento elasto-perfeitamente plástica (NP EN 1998-1 (2010))

Onde:

A - corresponde à formação do mecanismo plástico;

E_m^* - corresponde à energia de deformação real até à formação do mecanismo plástico.

Desta forma, procede-se ao cálculo do período T^* do sistema idealizado equivalente com um só grau de liberdade, a partir:

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}} \quad (31)$$

O deslocamento objetivo para um período e comportamento elástico ilimitado, é conseguido por:

$$d_{et}^* = S_e(T^*) \left[\frac{T^*}{2\pi} \right]^2 \quad (32)$$

Sendo $S_e(T^*)$ o valor do espectro de resposta elástica de aceleração para o período T^* .

Para estruturas de períodos curtos, ou seja, quando $T^* < T_C$, o deslocamento-alvo, d_{et}^* , toma valores diferentes, para quando a resposta é elástica ou não linear.

Sendo que, no primeiro caso obedece à expressão $F_y^* / m^* \geq S_e(T^*)$, e por conseguinte, é calculado o d_t^* por:

$$d_t^* = d_{et}^* \quad (33)$$

No entanto, se a resposta for não linear, é satisfeita a equação $F_y^* / m^* < S_e(T^*)$ e por isso, o d_t^* é determinado através da seguinte expressão:

$$d_t^* = \frac{d_{et}^*}{q_u} \left(1 + (q_u - 1) \frac{T_c}{T^*} \right) \geq d_{et}^* \quad (34)$$

No qual, q_u é a relação entre a aceleração na estrutura com comportamento elástico ilimitado $S_e(T^*)$ e na estrutura com resistência limitada F_y^* / m^* .

Em estruturas de médio e longo períodos, isto é, $T^* \geq T_C$, o deslocamento-alvo é obtido pela expressão:

$$d_t^* = d_{et}^* \quad (35)$$

Esta dependência entre a aceleração e deslocamento, é caracterizada pelas figuras 1 e 2, onde se encontra representado o período T^* , que se refere à linha radial que inicia na origem do sistema, até ao ponto de interseção na curva de resposta elástica espectral, definido pelas coordenadas $d_{et}^* = S_e(T^*)(T^*/2\pi)$ e $S_e(T^*)$.

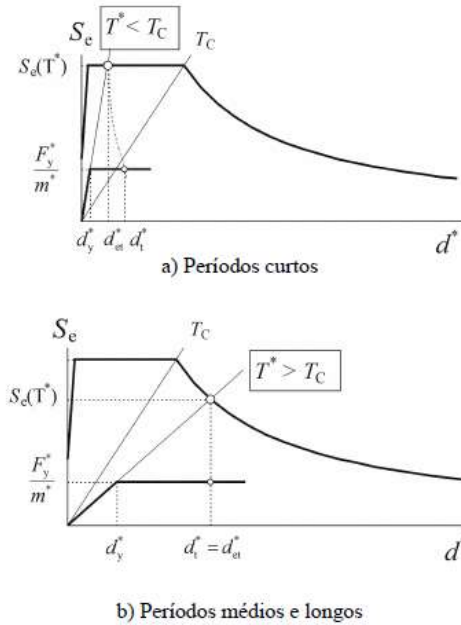


Fig. 6 - Determinação do deslocamento-alvo para o sistema equivalente com um só grau de liberdade (NP EN 1998-1 (2010))

Assim, é possível determinar-se o deslocamento-alvo referido para o nó de controlo, para um sistema com n G.L, a partir da seguinte expressão:

$$d_t = \Gamma d_t^* \quad (36)$$

2.5.4 CÁLCULO DA CAPACIDADE RESISTENTE

A partir da análise Pushover, tal como já referido anteriormente, é possível determinar o deslocamento objetivo, que traduz o nível de exigência do edifício perante a ação sísmica aplicada. Desta forma, para avaliar a segurança sísmica, é fundamental proceder à determinação da capacidade resistente do edifício

às ações horizontais, através da determinação da capacidade de rotação última, com base nas expressões descritas na NP EN 1998-3 (2017), a seguir representadas:

Capacidade de rotação da corda última:

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0.016(0.3^v) \left[\frac{\max(0.01, w')}{\max(0.01, w)} f_c \right]^{0.225} \left(\frac{L_v}{h} \right)^{0.35} 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1.25^{100 f_d}) \quad (37)$$

Capacidade de rotação da corda na cedência:

a) Para pilares:

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + a_v z}{3} + 0.0014 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_v} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d - d'} \frac{d_{bL} f_y}{6 \sqrt{f_c}} \quad (38)$$

b) Para paredes de seção retangular:

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v + a_v z}{3} + 0.0013 + \phi_y \frac{d_{bL} f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad (39)$$

No caso em que apenas é necessário verificar um estado limite, nomeadamente o de Danos Severos ou o de Limitação de Danos, tem que se proceder à verificação da resistência ao corte, através das expressões seguintes:

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\frac{h - x}{2L_v} \min(N, 0.55 A_c f_c) + (1 - 0.05 \min(5, \mu_{\Delta}^{pl})) \cdot 0.16 \max(0.5, 100 \rho_{tot}) \left(1 - 0.16 \min \left(5, \frac{L_v}{h} \right) \right) \sqrt{f_c A_c} + V_w \right] \quad (40)$$

$$V_w = \rho_w b_w z f_{yw} \quad (41)$$

Nesse sentido, é descrito na NP EN 1998-3 (2017), que para edifícios pertencentes à classe de importância II, é necessário analisar estas capacidades, segundo o estado limite de Danos Severos. O estado limite de danos severos é relativo a quando a estrutura apresenta um estado de dano significativo, com alguma resistência residual lateral, em que os elementos verticais possuem capacidade para suportar cargas verticais, segundo a NP EN 1998-3 (2017).

3 CASO EM ESTUDO

3.1 INTRODUÇÃO

O caso em estudo corresponde a um hotel, situado em Lisboa, que foi submetido a uma mudança do seu uso de utilização.



Fig. 7 – Projeto do edifício em 3D

Inicialmente, em 1999, este edifício foi projetado para fins industriais. Embora tenha sido projetado com 5 pisos, apenas foram executados 3 pisos, mantendo-se a cêrcea inicial, o que originou a elevados pés direitos entre os pisos, conforme ilustrado na Fig. 8. Recentemente, em 2019, o edifício foi submetido a uma alteração do seu uso de utilização, passando a ser um hotel. Como principais alterações estruturais

a que o edifício foi submetido, destaca-se a construção de dois novos pisos entre os pisos existentes, bem como, a execução de novos pilares e o reforço de alguns dos existentes conforme Fig. 9 e Fig. 10.



Fig. 8 – Pés-direitos do edifício original



Fig. 9 – Novos pisos/pés-direitos



Fig. 10 – Reforço de pilares

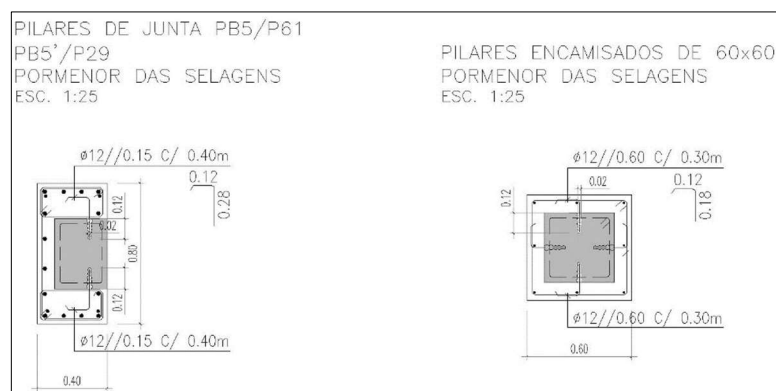


Fig. 11 – Reforço de pilares

Outro aspeto relevante, foi a implementação de uma caixa de elevadores.

O novo edifício é constituído por dois blocos principais, designados por A e B, conforme ilustrado na Fig. 12 e peças desenhadas constantes no anexo B, separados entre si por uma junta estrutural, localizada sensivelmente a meio do edifício.

Deste modo, importa referir que na presente dissertação apenas irá ser estudada o bloco B, derivado ao pressuposto que os dois blocos funcionam como duas unidades dinamicamente independentes entre si.

O bloco B, subdivide-se em dois corpos independentes entre si, desde o rés-chão até à cobertura, mantendo apenas a cave em comum, conforme ilustrado na Fig. 13 e peças desenhadas constantes nos anexos A e B. Devido a este facto, e por motivos de se tratar de um caso de estudo, foi tida como simplificação a existência de uma junta estrutural entre estes dois corpos do bloco B. Advém deste pressuposto, a interrupção de um dos alinhamentos de pilares existentes a partir do rés-chão, pelo que o caso em estudo considerado foi o definido na área ilustrada na Fig. 12.

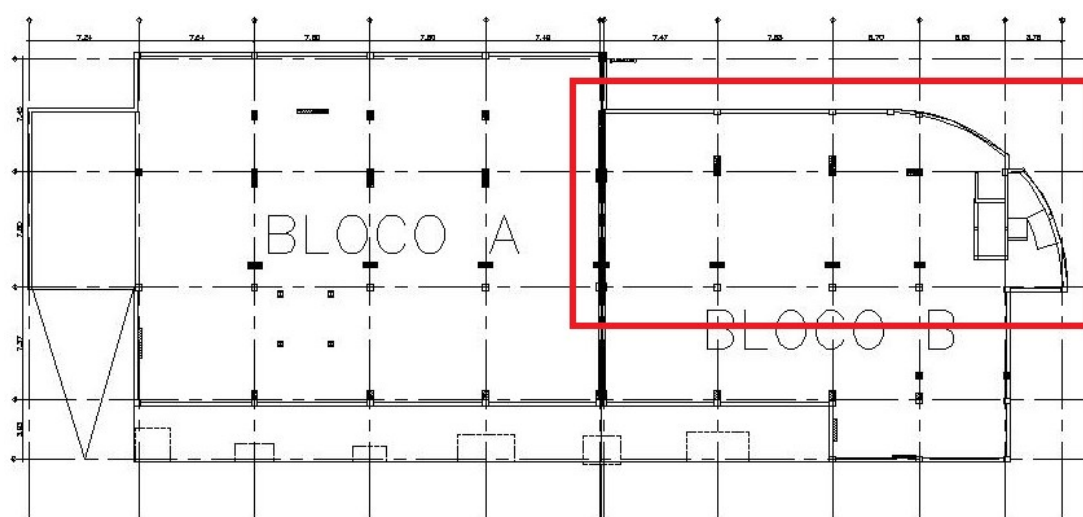


Fig. 12 - Implantação do edifício / Área de estudo

3.2 INFORMAÇÃO ESTRUTURAL

3.2.1 FUNDAÇÕES

O edifício assenta em fundações superficiais, tendo sido alargadas e reforçadas, relativamente à situação de projeto inicial.

No entanto nesta dissertação, não será contemplada a interação solo-estrutura, por motivos de o caso de estudo não se inserir nos casos especificados na NP EN 1998-5 (2010), sendo que essas verificações serão apresentadas em detalhe no capítulo 5. Portanto, a modelação da estrutura, não será realizada com a consideração destes elementos, tendo em conta a rigidez elástica do solo. Contudo, é importante realçar a importância que este comportamento adquire na absorção da ação sísmica aplicada na estrutura.

3.2.2 SUPERESTRUTURA

A superestrutura do edifício em análise, é composta por um sistema misto, constituído por um conjunto de pórticos nos 5 pisos e por paredes estruturais nos 2 primeiros pisos. No edifício, existem lajes maciças de betão armado, que se apoiam num conjunto de vigas de betão armado, expeto no do rés-chão. Por sua vez, essas vigas apoiam em pilares e paredes de betão armado.

São apresentados na Fig. 13 e no anexo A2, peças desenhadas onde se consegue visualizar as alturas dos pés direitos associado a cada andar do edifício.

Quadro 6 – Altura dos pisos

Andar	H (m)
Cave (andar -1)	4,49
Andar 0	3,11
Andar 1	2,45
Andar 2	2,66
Andar 3	2,65

Nota: Para efeitos da verificação dos critérios de aplicabilidade das metodologias e dado esta dissertação ser um caso de estudo, foi considerado para altura dos pisos, as alturas fictícias (H*) conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Altura fictícia

Andar	H* (m)
Cave (andar -1)	5,00
Andar 0	5,00
Andar 1	4,00
Andar 2	3,50
Andar 3	3,50

3.2.3 LAJES

A solução do tipo de lajes adotadas no projeto é a mesma em todos os pisos, sendo lajes maciças. Apenas a sua espessura varia por piso, tomando o valor de 25 cm para as lajes existentes, enquanto que em lajes novas, toma o valor de 22 cm.

Nesse sentido, as lajes existentes fazem parte do R/C, piso 2 e cobertura. Por conseguinte, as lajes novas fazem parte do 1 e 3 piso.

A área correspondente aos pisos está demonstrada na tabela abaixo.

Quadro 8 - Áreas por piso

	Área (m ²)
Laje do Piso 0	327,558
Laje do Piso 1	291,483
Laje do Piso 2	291,483
Laje do Piso 3	291,483
Laje do Piso cobertura	300,483

3.2.4 PILARES E VIGAS

No edifício, as vigas encontram-se distribuídas, principalmente na periferia do edifício, desde o piso 1 até à cobertura.

Relativamente aos pilares existentes e novos, é fornecido no anexo B.3 e B.4 os respetivos quadros de pilares.

3.2.5 PAREDES RESISTENTES

As paredes resistentes existentes no edifício são constituídas por paredes do núcleo de elevador em cada andar, e um muro que envolve a envolvente externa do edifício, distribuído por 2 andares, são eles o a cave e o piso 0.

3.2.6 MATERIAIS

3.2.6.1 Betão

A classe de betão usada nos elementos estruturais existentes antes da remodelação, foi o correspondente ao betão B25, atualmente denominado por C20/25.

As propriedades mecânicas adotadas na análise, para esta classe de betão foram:

- Módulo de elasticidade médio aos 28 dias: 30 MPa;
- Resistência característica à compressão: 20 MPa;
- Peso volúmico 25 KN/m³.

Relativamente à classe de betão correspondente aos elementos novos, este assume a classe C30/37.

Do mesmo modo, as propriedades relativas a esta classe são:

- Módulo de elasticidade médio aos 28 dias: 33 MPa;
- Resistência característica à compressão: 30 MPa;
- Peso volúmico. 25 KN/m³.

Os valores dos parâmetros referentes ao coeficiente de Poisson correspondem a 0,2 em ambas as classes de betão, que é o valor normalmente usado para materiais como o betão.

3.2.6.2 Aço

A classe de aço empregada nos elementos estruturais existentes antes da remodelação, foi a correspondente ao aço A 400 NR.

Os valores adotados na análise para parâmetros referentes a esta classe correspondem:

- A resistência de cedência de cálculo: 348 MPa;
- Módulo de elasticidade: 200 MPa.

Enquanto que, para os elementos novos assume o valor de A 500 NR. Assim, encontram-se apresentados os valores das propriedades deste aço, para efeitos de cálculo:

- A resistência de cedência de cálculo: 435 MPa;
- Módulo de elasticidade: 200 MPa.

3.2.7 AÇÕES CONSIDERADAS

Para a modelação, e na aplicação nas metodologias expeditas do relatório 81/2019 do LNEC (2019), foram usadas as seguintes cargas:

3.2.7.1 Peso próprio

- Peso próprio da estrutura;
- Peso próprio associado às paredes interiores - $0,7\text{KN/m}^2$ para os pisos correntes;
- Peso próprio associado aos revestimentos - $0,5\text{KN/m}^2$ e 2KN/m^2 para os pisos correntes, e cobertura, respetivamente;

3.2.7.2 Sobrecargas:

- 2KN/m^2 para os pisos correntes e cobertura.

3.3 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO SEGUNDO A NP EN 1998-1 (2010)

3.3.1 VERIFICAÇÃO DA REGULARIDADE EM PLANTA

No que diz respeito à regularidade em planta, o edifício não verifica um dos critérios de regularidade.

A área afetada pelo recuo, resultante da interrupção da continuidade em altura de um alinhamento de pilares, que deixa de existir entre o piso 0 e a cobertura, toma o valor de aproximadamente $45,281\text{ m}^2$, o que ultrapassa o valor limite de $16,378\text{ m}^2$, correspondente aos 5% da área existente no piso 0 ($327,558\text{ m}^2$);

Apesar do acima exposto, são verificadas todas as outras condições para a regularidade em planta, nomeadamente a condição associada à esbelteza, onde a maior dimensão em planta assume o valor de 30,55 m, enquanto que na menor dimensão toma o valor de 11,95m. Desta forma, é obtido um valor para a esbelteza de 2,56, não ultrapassando o valor máximo de 4.

Relativamente à condição necessária para a excentricidade estrutural e o raio de torção, é verificada para cada direção e para cada nível existente do edifício as respetivas equações. Estes cálculos encontram-se explicitados no anexo C. Para esses cálculos, foram considerados os pilares bi-encastados, por isso, a rigidez horizontal considerada foi calculada através da expressão (7), descrita no capítulo 2.

Deste modo, o edifício não apresenta regularidade em planta.

3.3.2 VERIFICAÇÃO DA REGULARIDADE EM ALTURA

Em referência à verificação da regularidade em altura, é possível constatar que não é satisfeita apenas um dos critérios, sendo ele:

- Não existir a continuação de um alinhamento de pilares, localizados na periferia interna do edifício, desde a cave até à cobertura.

No que diz respeito aos demais critérios, são verificados os restantes, designadamente a altura que o único recuo se posiciona no edifício. Neste critério, o recuo encontra-se localizado a 2,3 metros acima do solo, como se pode observar na Fig. 13. Isto significa que, o recuo está localizado acima de $0,15 H$ e, portanto, apresenta um valor de 0,125 para a condição definida na Fig. 3b) ilustrada no capítulo 2, o que satisfaz o valor limite de 0,2.

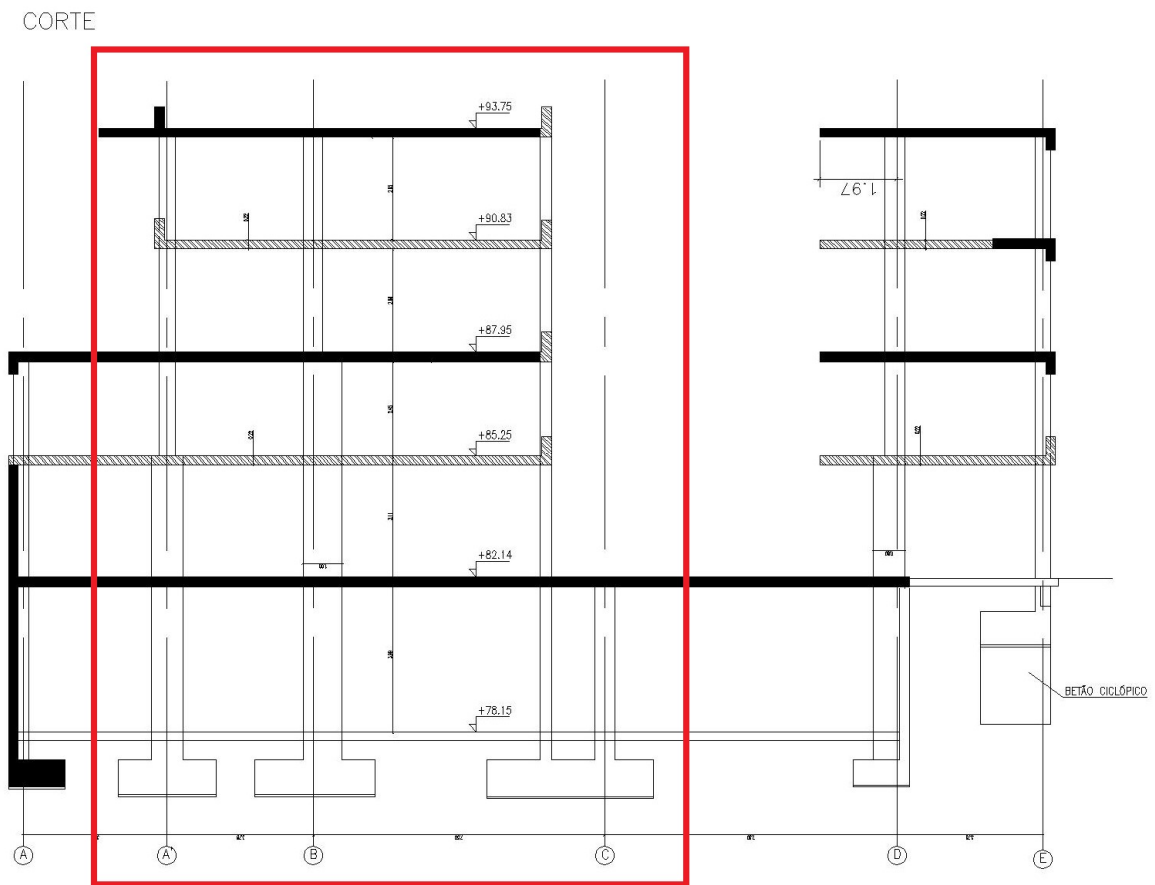


Fig. 13 - Corte lateral do edifício

3.3.3 CLASSE DE IMPORTÂNCIA

O valor referente ao coeficiente de importância, γ_i , que irá ser adotado nos cálculos, será igual a 1,0, pois considera-se que a estrutura apresenta uma classe de importância II, conforme definido na NP EN 1998-1 (2010) (Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias).

3.3.4 DEFINIÇÃO DO ESTADO LIMITE

É exposto no anexo nacional da NP EN 1998-3 (2017), que os edifícios pertencentes à classe de importância II devem ser verificados, tendo em conta o estado limite de danos severos (SD).

Visto este limite ser o único necessário a ser verificado, é essencial avaliar a resistência ao esforço transversal dos elementos verticais estruturais do edifício, cujos cálculos irão ser apresentados nos capítulos seguintes.

3.3.5 DEFINIÇÃO DA ZONA SÍSMICA

De acordo com NP EN 1998-1 (2010), o zonamento sísmico de Portugal Continental, está dividido em várias zonas sísmicas, variando em função do tipo de ação sísmica a considerar, conforme se pode visualizar na seguinte figura.

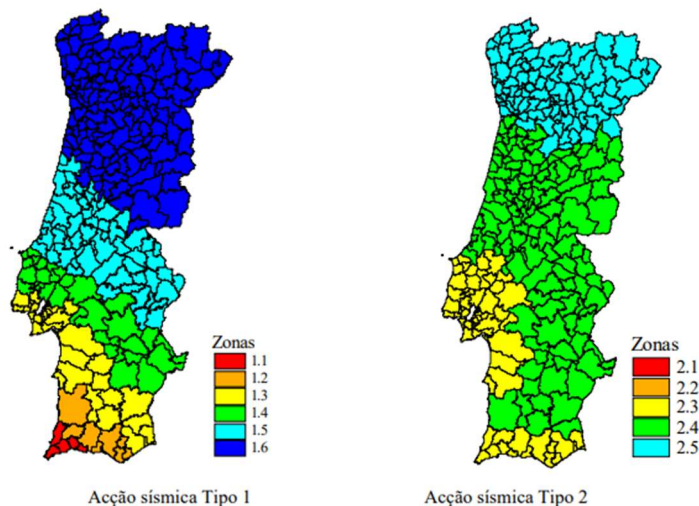


Fig. 14 - Zonamento Sísmico de Portugal continental (NP EN 1998-1 (2010))

Assim, é imperativo ter em conta dois tipos de ações sísmicas, designadas por ação sísmica tipo 1 e tipo 2.

Estes tipos de ações vêm apresentadas no anexo nacional, em função do município em que o edifício está situado. Assim, é possível definir o valor de referência da aceleração máxima à superfície de um terreno, bem como a zona sísmica em que o edifício está situado.

Deste modo, e uma vez que o edifício em estudo se encontra localizado em Lisboa, consegue-se determinar estes valores de indicação do zonamento sísmico:

Quadro 9 - Lista de Concelhos com definição do zonamento sísmico (adaptado NP EN 1998-1 (2010))

Portugal Continental	Ação sísmica			
	Tipo 1		Tipo 2	
Concelho	Zona sísmica	Aceleração a_{gR} (m/s ²)	Zona sísmica	Aceleração a_{gR} (m/s ²)
Lisboa	1.3	1,5	2.3	1,7

No entanto, no anexo nacional da NP EN 1998-3 (2017) é exposto um quadro que permite a introdução de um coeficiente que se deve adotar para a obtenção da aceleração máxima de referência para o estado limite de Danos Severos (SD).

Quadro 10 - Coeficientes multiplicativos da ação sísmica de referência para obtenção da aceleração máxima de referência para aplicação da (adaptada NP EN 1998-3 (2017))

Estado Limite	Ação sísmica Tipo 1	Ação sísmica Tipo 2
De Danos Severos (SD)	0,75	0,84

Deste modo, determina-se o valor de cálculo da aceleração à superfície do terreno, a partir da expressão:

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} \quad (42)$$

Obtendo-se o valor de 1,125 e 1,428, para a ação sísmica tipo 1 e 2, respetivamente.

3.3.6 TIPO DE TERRENO

A informação relativa à caracterização geotécnica era escassa, uma vez que, apenas existia informação acerca do módulo de deformabilidade do solo, de 600kg/cm², e a capacidade de carga do solo, de 25 MPa, segundo a memória descritiva do projeto de estabilidade referente ao edifício industrial.

Assim, com estas informações, conseguiu-se estabelecer o tipo de solo existente, bem como definir vários parâmetros de resistência do solo, nomeadamente o ângulo de atrito, o N_{SPT} e a resistência não drenada do solo, recorrendo a correlações empíricas preconizadas em M.Marangon (2022).

Isto significa que a partir do valor do módulo de deformabilidade, conseguiu-se determinar o tipo de solo a partir do quadro seguinte:

Quadro 11 - Valores de Módulo de Elasticidade para diferentes tipos de solos (Cintra et al. 2003).

Solo	E (Kgf/cm ²)
1. Argila	
Muito mole	3 – 30
Mole	20 – 40
Média	45 – 90
Dura	70 – 200
Arenosa	300 – 425
2. Areia	
Siltosa	50 – 200
Fofa	100 – 250
Compacta	500 – 1000
3. Areia e Pedregulho	
Compacto	800 – 2000
Fofo	500 – 1400
4. Silte	20 – 200

Daqui se retira que o tipo de terreno que se detém é a de um solo coesivo, mais explicitamente, uma areia compacta ou areia e pedregulho fofo. Assim sendo, foi possível determinar o ângulo de atrito para cada hipótese de areia, retratado na tabela:

Quadro 12 – ângulo de atrito interno de areias (Segundo Moraes, 1978)

Areia	Fina		Média e Grossa		Com pedregulho
	Grãos Esféricos	Grãos Angulares	Grãos Esféricos	Grãos Angulares	
Fofa	27	28	29	33	34
Intermediária	30	34	33	38	37 - 39
Compacta	33	36	36	44	40 - 45

Daqui, obtém-se valores para o ângulo de atrito de areias média e grossa e com pedregulho, com valor de 44 e 34, respetivamente. É de notar, que se adotou o valor de 44, ao invés de 36, pelo simples facto de constituir um valor mais distinto do valor usado para areia com pedregulho.

Seguidamente, são usadas duas expressões empíricas, que correlacionam o ângulo de atrito interno de areias com o N_{SPT} , permitindo o seu respetivo cálculo:

Estimativa proposta por Godoy (1983):

$$\phi = 28^{\circ} + 0,4N \quad (43)$$

Estimativa proposta por Teixeira (1996):

$$\phi = \sqrt{20N} + 15^{\circ} \quad (44)$$

Para efeitos de não desprezar qualquer tipo de hipótese, sobre qual o tipo de areias seria a real, calculou-se o ângulo de atrito para cada uma das hipóteses dos tipos de solo, aplicando cada uma das fórmulas propostas pelos autores referidos:

Quadro 13 – Ângulo de atrito

Tipo de areia	ϕ	N_{SPT}	N_{SPT}
		$\phi = 28^{\circ} + 0,4N$	$\phi = \sqrt{20N} + 15^{\circ}$
Areia compacta	44	40,00	42,10
Areia e pedregulho fofo	34	15,00	18,10

Assim, chega-se à conclusão que independentemente dos tipos de areias a considerar no solo, retira-se a mesma conclusão quanto ao tipo de terreno a considerar para a definição da ação sísmica, pois ambos os valores obtidos para o N_{SPT} , estão entre o intervalo 15 – 50, admissíveis ao tipo de terreno C. Deste modo, na presente dissertação, é esse tipo de terreno a utilizar no caso de estudo.

3.4 DEFINIÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA

A ação sísmica é definida e qualificada pelo espectro de resposta elástico ou de cálculo, uma vez que não irá ser tido em conta a influência do fator de comportamento, pois vai ser usada uma análise não linear, o espectro de resposta a utilizar será o elástico.

Estes espectros dependem de parâmetros que vão influenciar a forma do espectro de resposta elástico. Estes parâmetros vão depender do tipo de terreno no qual a estrutura está assentada e do tipo de ação sísmica.

Os parâmetros descritos são o S, TB, TC e TD, e encontram-se caracterizados na tabela seguinte, considerando a ação sísmica tipo 1.

Quadro 14 - Parâmetros adotados no espectro de resposta elástico para a ação sísmica tipo 1 (adaptado NP EN 1998-1 (2010))

Tipo de terreno	S	TB (s)	TC (s)	TD
C	1,15	0,20	0,60	2,00

Tendo em conta a ação sísmica tipo 2:

Quadro 15 - Parâmetros adotados no espectro de resposta elástico para a ação sísmica tipo 2 (adaptado NP EN 1998-1 (2010))

Tipo de terreno	S	TB (s)	TC (s)	TD
C	1,50	0,10	0,25	1,20

Assim, obtém-se o espectro de resposta elástica, para cada zona sísmica referente à região de Lisboa, atendendo ao Estado Limite de Danos Severos:

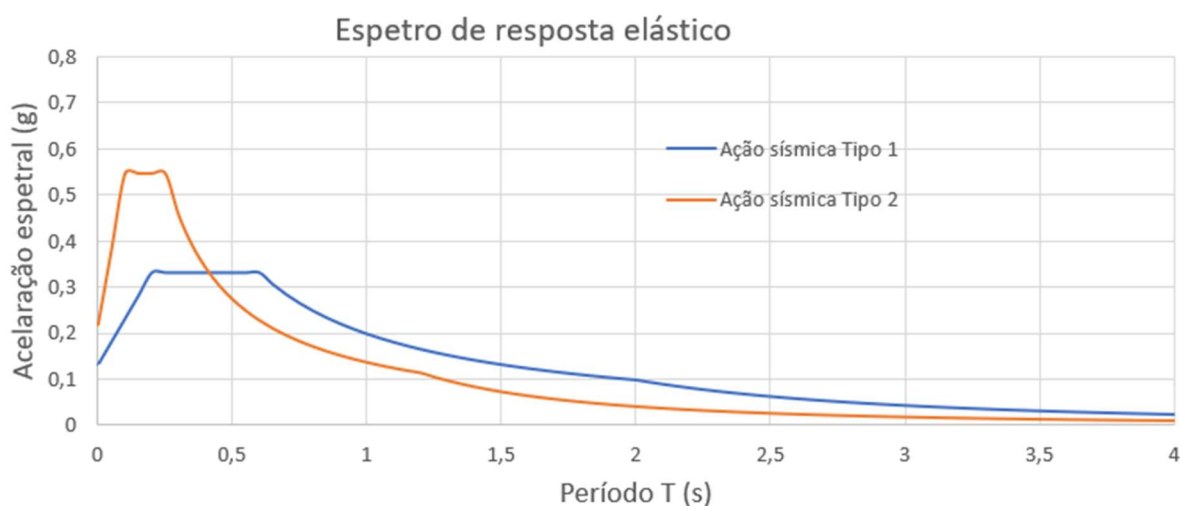


Fig. 15 - Espectro de resposta elástico para a ação sísmica tipo 1 e 2

3.5 VERIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS RELATIVOS À PORTARIA Nº 302/2019

Tal como explicitado no capítulo 2, para que seja obrigatório a elaboração do relatório de vulnerabilidade sísmica, basta que um dos critérios descritos na respetiva portaria seja verificado. Uma vez que a estrutura está inserida na classe de importância II, apenas será necessário proceder à verificação das condições expostas no n.º 1 do artigo 1.º da portaria., conforme especificado no Quadro 18.

3.5.1 ÁREA INTERVENCIONADA, EXCEDER 25 % DA ÁREA BRUTA DE CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO.

Quadro 16 - Verificação do critério da alínea c) do n.º 1 do artigo 1.º da portaria

Área intervencionada	583 m ²
Área bruta de construção	1502 m ²
% Área intervencionada	0,39% ≥ 0,25% (verifica condição)

3.5.2 CUSTO DE CONSTRUÇÃO EXCEDER, NO MÍNIMO 25 % DO CUSTO DE CONSTRUÇÃO NOVA DE EDIFÍCIO EQUIVALENTE.

O custo de construção por metro quadrado, toma o valor de 512 euros, segundo a Portaria 310/2021, de 30 de dezembro. O valor do custo de construção em função do custo de construção nova, corresponde à mesma percentagem do obtido para a Área intervencionada, e está apresentada no quadro seguinte:

Quadro 17 - Verificação do critério da alínea d) do n.º 1 do artigo 1.º da portaria

Custo de construção intervencionado	298496 €
Custo de construção de edifício novo equivalente	769024 €
% custo de construção	0,39% ≥ 0,25% (verifica condição)

Quadro 18 - Verificação dos critérios para a obrigatoriedade de elaboração do relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica do edifício

a) Existência de sinais evidentes de degradação da estrutura do edifício;	Não
b) Procedam ou tenham por efeito uma alteração do comportamento estrutural do edifício;	Sim
c) Cujas área intervencionada, incluindo demolições e ampliações, exceda os 25 % da área bruta de construção do edifício;	Sim
d) Cujo custo de construção exceda em pelo menos 25 % do custo de construção nova de edifício equivalente	Sim

Verifica-se que pelo menos um dos critérios descritos na portaria é verificado. Nesse sentido, é obrigatório a elaboração do relatório de vulnerabilidade sísmica.

4

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA APLICANDO AS METODOLOGIAS EXPEDITAS

Durante a presente dissertação, irá ser apresentado a aplicação dos respetivos métodos apenas a dois pisos, sendo eles o piso 1 e a cobertura, devido ao facto de apresentarem respetivamente, a maior e a menor resistência, relativamente aos restantes pisos do edifício. No entanto, encontram-se apresentados no anexo C, as folhas de cálculo relativas a todos os pisos do edifício, bem como, a resistência dos elementos estruturais, admitindo a atuação da ação sísmica na direção x e direção y.

4.1 VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE

Como referido no capítulo 2, para que seja possível a aplicação de determinadas metodologias adotadas no relatório 81/2019 do LNEC (2019), é necessário que sejam verificados os critérios referidos.

Numa primeira fase, irá ser verificado os critérios de aplicabilidade associados aos métodos I, II e III, caracterizados no capítulo 2, que se encontram resumidos no Quadro 19.

É de referir, que neste capítulo apenas irão ser verificados os critérios de aplicabilidade referentes ao método III, sendo que o seu cálculo irá ser pormenorizado no capítulo 5. Portanto, apenas irão ser demonstrados os cálculos para o método II e I, no presente capítulo.

Quadro 19 - Verificação dos critérios de aplicabilidade para os métodos expeditos I e II

Crítérios de aplicabilidade	Resultado	Método II	Método I	Método III
Classe de importância	II	Sim	Sim	Sim
Nº de pisos	4	Sim	Sim	Sim
Área de implantação	≈300	Sim	Sim	Sim
Regularidade estrutural	*	Sim	Sim	Sim
Regularidade em planta	*	Sim	Sim	Sim
Regularidade em altura	*	Sim	Sim	Sim
Interação entre edifícios adjacentes	-	Sim	Sim	Sim
Condições geotécnicas locais	Terreno Tipo C	Sim	Sim	Sim

Do exposto, torna-se necessário justificar alguns dos critérios apresentados, nomeadamente:

4.1.1 NÚMERO DE PISOS

Atendendo à definição descrita no capítulo 2, sobre a caracterização do piso, chega-se à conclusão que o número de pisos a considerar nestas metodologias equivale a 4, uma vez que a cave existente no edifício, encontra-se totalmente enterrada, logo, este critério encontra-se verificado.

4.1.2 ÁREA DE IMPLANTAÇÃO

A área de implantação corresponde a 300,50 m², inferior ao limite máximo de 400,00 m². Verifica-se este critério.

4.1.3 REGULARIDADE ESTRUTURAL

É verificado este critério, conforme especificado no Quadro 20.

As condições fronteiras consideradas nos pilares, correspondem a condições de bi-encastramento, por isso, é apresentada uma tabela onde é especificado as alturas dos pilares, bem como a verificação da inexistência de pilares curtos.

Quadro 20 – Verificação da inexistência de pilares curtos

Piso	Secção desfavorável	h_i do pilar desfavorável	Altura dos pilares H^* (m)	Verificação $\frac{M}{Vh} \leq 2,5$
Piso 1	0,6x1,00	1,00	5,00	O. K
Piso 2	0,75x0,25	0,80	4,00	O. K
Piso 3	0,4x0,70	0,70	3,50	O. K
Cobertura	0,4x0,80	0,70	3,50	O. K

4.1.4 REGULARIDADE EM PLANTA

Uma vez que a cave não é tida em conta na aplicação dos métodos expeditos, conclui-se que não existe o recuo referido no capítulo 3. Por isso, é verificada esta condição, que anteriormente era a razão pela qual não existia a regularidade em planta do edificado.

Assim, tendo em conta esta simplificação, é verificada a regularidade em planta no edifício. Relativamente à condição da verificação dos limites do raio de torção e excentricidade, para os comprimentos de pilares adotados, é apresentado no anexo C os cálculos com maior pormenor. No entanto, são apresentadas nas tabelas seguintes, estas verificações para cada piso do edifício:

Tabela 3 - Verificação da regularidade em planta – Piso 1

Verificação	Direção x			Direção y		
$e_{ox} \leq 0.30 \cdot r_x$	0,3r_x	e_{o,x}	OK	0,3r_y	e_{o,y}	OK
	7,86	7		3,25	2,49	
$r_x \geq l_s$	r_x	l_{s,x}	OK	r_y	l_{s,y}	OK
	26,20	5		10,82	8,87	

Tabela 4 - Verificação da regularidade em planta – Piso 2

Verificação	Direção x			Direção y		
$e_{ox} \leq 0.30 \cdot r_x$	0,3r_x	e_{o,x}	OK	0,3r_y	e_{o,y}	OK
	8,17	6		16,07	15,65	
$r_x \geq l_s$	r_x	l_{s,x}	OK	r_y	l_{s,y}	OK
	27,22	5		53,58	9,40	

Tabela 5 - Verificação da regularidade em planta – Piso 3

Verificação	Direção x			Direção y		
$e_{ox} \leq 0.30 \cdot r_x$	0,3r_x	e_{o,x}	OK	0,3r_y	e_{o,y}	OK
	8,17	6		16,07	15,65	
$r_x \geq l_s$	r_x	l_{s,x}	OK	r_y	l_{s,y}	OK
	27,22	5		53,58	9,40	

Tabela 6 - Verificação da regularidade em planta – Cobertura

Verificação	Direção x			Direção y		
$e_{ox} \leq 0.30 \cdot r_x$	0,3r_x	e_{o,x}	OK	0,3r_y	e_{o,y}	OK
	8,33	6		17,29	16,49	
$r_x \geq l_s$	r_x	l_{s,x}	OK	r_y	l_{s,y}	OK
	27,76	4		57,63	7,85	

É de referir, que as paredes estruturais tiveram um grande impacto na verificação dos limites referentes ao raio de torção e excentricidade na direção y, para o piso 2, piso 3 e cobertura, uma vez que não foram satisfeitos os limites máximos se não existissem essas paredes.

4.1.5 REGULARIDADE EM ALTURA

No que diz respeito à regularidade em altura, é verificado este critério. Não sendo considerado a existência da cave no edifício, deixa de existir a interrupção dos pilares em altura, conforme descrito em 3.3.2.

4.1.6 INTERAÇÃO ENTRE EDIFÍCIOS ADJACENTES

Uma vez que no caso em estudo, as lajes existentes entre os dois blocos do edifício estão ao mesmo nível, e a altura dos mesmos é igual, verifica-se que esta condição não é aplicável.

4.2 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA SEGUNDO O MÉTODO II

Os valores das resistências foram calculados para todos os elementos verticais existentes em cada piso, bem como para as paredes do núcleo e muros.

Para a realização desta metodologia, numa primeira fase, foi necessário proceder ao levantamento dos dados relativos à armadura longitudinal e transversal dos elementos estruturais verticais de cada piso, usadas antes (projeto original) e depois do reforço (remodelação), através do quadro de pilares constantes nos anexos B.3 e B.4.

Assim, obteve-se a informação necessária para o cálculo da resistência às forças horizontais associada ao mecanismo de flexão e corte. As expressões usadas para determinar a resistência especificada associada à flexão, depende da armadura longitudinal, enquanto que para o mecanismo de corte depende da armadura transversal.

4.2.1 RESISTÊNCIA PARA FORÇAS HORIZONTAIS ASSOCIADA AO MECANISMO DE FLEXÃO

Analisando em primeiro lugar, a resistência para forças horizontais associada ao mecanismo de flexão $V_{F,i}$, realizou-se uma análise para a direção x e y, sendo posteriormente usado nos cálculos seguintes a direção mais condicionante à ação sísmica (menor $\sum V_{F,x}$; $\sum V_{F,y}$). Portanto, verificou-se que para o piso 1, as forças resistentes associadas ao mecanismo de flexão dos elementos estruturais verticais, apresentavam uma menor resistência para a direção y.

Apresentam-se na Tabela 7 os dados levantados para cada elemento vertical do piso 1, bem como os resultados relativos à resistência à flexão.

Tabela 7 - Resistência à flexão dos pilares, paredes do núcleo e muros – Piso 1

$V_{F,i} = 1.24 \left(\frac{b_i h_i^2 \rho_{s,i} f_{yt}}{L_{v,i}} \right)^{0.73}$ Cálculo de $V_{F,i}$											
L - Vão livre do elemento vertical [m]											5
Elementos verticais	Armadura de reforço	Armadura existente (Antes da reabilitação)	Área de aço total (cm ²)	L _x (m)	L _y (m)	ρ	ρ (%)	f _{yt} (kPa)	V _{F,x} (kN)	V _{F,y} (kN)	V _{F,i} (kN)
Piso 1											
PB'6	12φ25+2φ16	-	62,92	0,75	0,25	0,03	3,36	434782,61	166,25	74,55	74,55
PB'7	12φ25+2φ16	-	62,92	0,75	0,25	0,03	3,36	434782,61	166,25	74,55	74,55
PB'5	6φ25+φ16	-	31,46	0,50	0,25	0,03	2,52	434782,61	74,55	44,95	44,95
PB'8	6φ25+10φ16	-	49,56	0,75	0,25	0,03	2,64	434782,61	139,67	62,63	62,63
P31	16φ25+6φ20	10 φ20 +6 φ12	135,62	0,60	1,00	0,02	2,26	289855,07	184,06	267,25	267,25
P37	4φ25+4φ16	8 φ20+4 φ12	57,32	0,60	0,60	0,02	1,59	289855,07	98,16	98,16	98,16
P47	8φ16	8 φ16+4 φ12	16,08	0,60	0,60	0,00	0,45	289855,07	38,81	38,81	38,81
P33	12φ25+6φ20	10 φ20+6 φ16	121,23	0,60	1,00	0,02	2,02	289855,07	169,59	246,24	246,24
P29	10φ25+4φ20+4φ16	6φ25+6φ20	69,70	0,40	0,80	0,02	2,18	289855,07	84,21	139,68	139,68
P38	-	12 φ16	24,13	0,40	0,40	0,02	1,51	289855,07	38,82	38,82	38,82
P39	-	8φ16+4φ12	20,60	0,60	0,60	0,01	0,57	289855,07	46,50	46,50	46,50
P40	-	6φ25+4φ20	42,02	0,40	0,40	0,03	2,63	289855,07	58,20	58,20	58,20
P41	-	4φ25+4φ20	32,20	0,40	0,40	0,02	2,01	289855,07	47,92	47,92	47,92
P42	-	4φ25+4φ20	32,20	0,60	0,60	0,01	0,89	289855,07	64,43	64,43	64,43
P46	-	6φ20+2φ16	22,87	0,40	0,80	0,01	0,71	289855,07	37,33	61,92	61,92
P68	-	4φ20+4φ16	20,61	0,30	0,30	0,02	2,29	289855,07	28,05	28,05	28,05
P53	-	4φ20+4φ16	20,61	0,40	0,30	0,02	1,72	289855,07	34,60	28,05	28,05
Parede nucleo 1	20φ20+φ12//0,15	-	79,41	0,20	1,95	0,02	2,04	434782,61	75,08	395,83	395,83
Parede nucleo 2	6φ20+6φ20+φ12//0,15+φ12//0,15	-	68,57	1,75	0,20	0,02	1,96	434782,61	328,58	67,45	67,45
Parede nucleo 3	φ20//0,075+φ20//0,15+φ20//0,1075	-	188,68	0,20	5,25	0,02	1,80	434782,61	141,22	1534,13	1534,13
Parede nucleo 4	20φ25+φ12//0,15	-	118,10	2,15	0,20	0,03	2,75	434782,61	567,91	100,31	100,31
Muro existente reto	-	φ10//0,15	218,57	20,75	0,20	0,01	0,53	289855,07	3464,47	116,94	116,94
Muro existente curvo 1	-	φ10//0,15	65,35	6,20	0,25	0,00	0,42	289855,07	594,42	57,01	57,01
Muro exist reto no pilar 40	-	φ10//0,15	1,95	0,19	0,97	0,00	0,11	289855,07	3,52	11,79	11,79
muro exist reto no pilar PE	-	φ10//0,15	13,14	1,25	0,19	0,01	0,57	289855,07	57,12	14,18	14,18
Muro existente curvo 2	-	φ10//0,15	2,63	0,25	7,30	0,00	0,01	289855,07	5,47	64,20	64,20
									6715,23	3782,58	

Deste modo, é possível observar que nem todos os pilares existentes foram reforçados, e que houve necessidade de se projetar pilares novos. O h_i , considerado na fórmula para o cálculo $V_{F,i}$ em cada direção, corresponde à dimensão da seção transversal, segundo a direção da carga considerada.

Relativamente ao cálculo da taxa de armadura longitudinal, apresentam-se os valores obtidos na sétima coluna desta tabela, e é resultado do rácio entre a área de aço e a área de betão.

No cálculo da tensão de cedência do aço, que se encontra representada na coluna nove, pode-se verificar que em determinados pilares, este parâmetro assume valores diferentes, devido ao facto de se ter adotado nos pilares existentes e nos reforçados, a classe de resistência do aço mais desfavorável existente no pilar, ou seja, o aço A400 NR. Para cada classe de resistência de aço, foi ainda aplicado o coeficiente parcial de segurança de 1,15 adotado pelo NP EN 1992-1-1 (2010).

No entanto, é descrito na NP EN 1998-3 (2017), que para a obtenção da capacidade resistente dos elementos existentes, é necessário dividir as propriedades médias dos materiais pelo fator de conhecimento adequado. Nesse sentido, o valor do coeficiente de confiança adotado no cálculo, foi de 1,20, correspondente a um nível de conhecimento KL2, uma vez que, apesar de, existir um conjunto completo de desenhos de pormenor, que permitem conhecer as disposições construtivas do edifício, no que se refere ao conhecimento dos materiais, apenas existem informações das suas propriedades

mecânicas, a partir de especificações do projeto antes e após a remodelação. Assim sendo, e uma vez que o fator de conhecimento relativo ao nível de conhecimento normal ser mais desfavorável, relativamente ao fator adotado para o nível de conhecimento integral, no cálculo da resistência dos materiais, irá admitir-se um nível de conhecimento normal KL2.

O valor adotado para o L_v do piso 1, foi de 2,5, uma vez que se considerou que as extremidades dos pilares eram aproximadamente bi-encastados, logo, dividiu-se por 2, a distância existente entre as extremidades dos pilares (5,0 m).

Desta forma, obteve-se a resistência horizontal associada a mecanismos de flexão de cada elemento vertical.

Assim, é importante observar na última coluna da tabela a contribuição que as paredes e os muros assumem na resistência do edifício associados à rotação de corda última, comparativamente com a dos pilares. Deste modo, a percentagem relativa à resistência que cada tipo de elemento estrutural fornece está representada no quadro abaixo.

Quadro 21 - Percentagem relativa à resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de flexão –Piso 1

Elementos e estruturais verticais	Σ Resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de flexão no piso 1 (KN)	%
Pilares	1420,73	37,6
Paredes de núcleo e muro	2361,85	62,4

Seguidamente, encontra-se apresentada a resistência para forças horizontais do piso da cobertura, associados os mecanismos de flexão.

Ao contrário do que foi assumido no piso 1, no piso da cobertura, a direção da ação sísmica que se concluiu ser a mais condicionante foi a direção x. E, portanto, segue na seguinte tabela, os valores obtidos para a resistência à flexão nos elementos verticais do piso da cobertura.

Tabela 8 - Resistência à flexão dos pilares, paredes do núcleo e muros – Cobertura

$V_{fj} = 1.24 \left(\frac{b_i h_i^2 \rho_{s,i} f_{yi}}{L_{vj}} \right)^{0.73}$ Cálculo de V_{fj}											
L - Vão livre do elemento vertical [m] 3,5											
Elementos verticais	Armadura de reforço	Armadura existente (Antes da reabilitação)	Área de aço total (cm ²)	L _v (m)	L _v (m)	ρ	ρ (%)	f _{yd} (MPa)	V _{fx} (kN)	V _{fy} (kN)	V _{fj} (kN)
Cobertura											
PB' 6	4φ25+4φ16		27,67	0,50	0,25	0,02	2,21	434782,61	67,89	40,93	67,89
PB' 7	4φ25+4φ16		27,67	0,50	0,25	0,02	2,21	434782,61	67,89	40,93	67,89
PB' 5	4φ22+2φ16+4φ12		23,75	0,40	0,25	0,02	2,38	434782,61	51,59	36,61	51,59
PB' 8	2φ25+2φ20+4φ16		33,95	0,50	0,25	0,03	2,72	434782,61	78,82	47,52	78,82
P31	nem cinta tem, nem arm	4 φ 16 + 8φ 12	17,09	0,60	1,00	0,00	0,28	289855,07	40,58	58,91	40,58
P37	4φ25+4φ16	4φ 16+ 4φ 12	40,23	0,60	0,60	0,01	1,12	289855,07	75,80	75,80	75,80
P47	so tem cinta	4φ 16+ 4φ 12	12,56	0,60	0,60	0,00	0,35	289855,07	32,41	32,41	32,41
P33	nem cinta tem nem arm	4φ16+8φ12	17,09	0,60	1,00	0,00	0,28	289855,07	40,58	58,91	40,58
P29	10φ25+4φ16	8φ16	73,21	0,40	0,70	0,03	2,61	289855,07	87,29	131,33	87,29
P38	-	4φ16+4φ12	12,56	0,60	0,60	0,00	0,35	289855,07	32,41	32,41	32,41
P39	-	4φ 16+4 φ12	12,56	0,60	0,60	0,00	0,35	289855,07	32,41	32,41	32,41
P40	-	4φ16+4φ12	12,56	0,40	0,40	0,01	0,79	289855,07	24,10	24,10	24,10
P41	-	4φ16+4φ12	12,56	0,40	0,40	0,01	0,79	289855,07	24,10	24,10	24,10
P42	-	4φ16+4φ12	12,56	0,60	0,60	0,00	0,35	289855,07	32,41	32,41	32,41
P46	-	6φ12	6,79	0,40	0,60	0,00	0,28	289855,07	15,38	20,68	15,38
P68	-	6φ12	6,79	0,30	0,30	0,01	0,75	289855,07	12,47	12,47	12,47
P53	-	8φ12	6,79	0,40	0,30	0,01	0,57	362318,84	18,11	14,68	18,11
Parede núcleo 1	16φ16+φ10//0,15	-	43,75	0,20	1,95	0,01	1,12	434782,61	48,59	256,14	48,59
Parede núcleo 2	8φ16+φ10//0,15	-	24,81	1,75	0,20	0,01	0,71	434782,61	156,46	32,12	156,46
Parede núcleo 3	12φ16+10φ//0,15+10φ16+ φ10//0,15 em 0,9	-	85,22	0,20	5,25	0,01	0,81	434782,61	79,05	858,74	79,05
Parede núcleo 4	16φ20+φ10//0,15	-	45,96	2,15	0,20	0,01	1,07	434782,61	285,15	50,37	285,15
									1303,47	1913,98	

A partir da Tabela 8, consegue-se observar que a área de aço nos pilares diminuiu significativamente, relativamente ao observado no piso 1. Além disso, as secções dos pilares também sofrem redução, por isso é que se observa na última coluna deste quadro, que a resistência de rotação da corda última para o estado limite de danos severos diminui.

Depois de analisar esta tabela, é possível constatar que não existe muro, o que influencia a resistência à flexão. Assim, é possível verificar a percentagem associada à resistência à flexão, que os pilares e paredes de núcleo fornecem ao edifício.

Quadro 22 – Percentagem da resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de flexão – Cobertura

Elementos e estruturais verticais	Σ Resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de flexão na cobertura (kN)	%
Pilares	996,81	56,3
Paredes de núcleo	764,43	43,7

É de referir, que os valores associados à resistência à flexão nas paredes de núcleo, analisando cada piso do edifício, tomaram valores entre 43 % e 55 % da resistência total, logo é importante ter em conta a influência das paredes de núcleo para a avaliação da resistência à flexão sob o efeito da ação sísmica.

De seguida, vão ser obtidos os valores relativos à resistência ao corte cíclico dos elementos estruturais verticais do piso, para que se possa determinar qual o esforço que irá provocar na estrutura primeiro o Estado Limite de Danos Severos.

4.2.2 RESISTÊNCIA PARA FORÇAS HORIZONTAIS ASSOCIADAS A MECANISMOS DE CORTE

Foi realizada uma análise preliminar, com o objetivo de verificar qual a direção mais condicionante para a atuação do sismo. Portanto, no piso 1 a resistência ao corte cíclico assume menores valores para a direção y.

Assim, é apresentado na seguinte tabela, os valores das parcelas associadas ao cálculo da resistência ao corte cíclico com as simplificações adotadas no relatório 81/219 do LNEC (2019).

Tabela 9 - Resistência ao corte cíclico dos pilares, paredes do núcleo e muros – Piso 1

Cálculo de V_{Cj} - PISO1																	$L_v (m) = 5$ $\tau_c = 0,24$ $f_{yw} (Kpa) - Novo = 434783$ $f_{yw} (Kpa) - Exist. = 289855$		
Elementos verticais	Novos					Existestes					L_x	L_y	b_{ux}	b_{uy}	ρ_{ux}	ρ_{uy}	V_{Cx}	V_{Cy}	V_{Cj}
	ϕ_w (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)	ϕ_w (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)									
PB' 6	8	0,5	2	4	0,15						0,75	0,25	0,25	0,75	0,27	0,18	209,80	135,50	135,50
PB' 7	8	0,5	2	4	0,15						0,75	0,25	0,25	0,75	0,27	0,18	209,80	135,50	135,50
PB' 5	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90
PB' 8	8	0,5	2	4	0,15						0,75	0,25	0,25	0,75	0,27	0,18	209,80	135,50	135,50
P31	8	0,5	4	4	0,15	6	0,28	4	4	0,15	0,60	1,00	1,00	0,60	0,20	0,34	495,70	846,80	846,80
P37	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60
P47	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60
P33	8	0,5	4	4	0,15	6	0,28	4	4	0,20	0,60	1,00	1,00	0,60	0,19	0,31	473,00	778,70	778,70
P29	8	0,5	4	2	0,15	8	0,5	3	2	0,25	0,40	0,80	0,80	0,40	0,25	0,27	316,00	360,20	360,20
P38						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,09	0,09	61,20	61,20	61,20
P39	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60
P40						8	0,50	2	2	0,25	0,40	0,40	0,40	0,40	0,10	0,10	67,20	67,20	67,20
P41						8	0,50	2	2	0,25	0,40	0,40	0,40	0,40	0,10	0,10	67,20	67,20	67,20
P42	8	0,5	2	2	0,15	8	0,50	2	2	0,25	0,60	0,60	0,60	0,60	0,18	0,18	270,20	270,20	270,20
P46	8	0,5	4	2	0,15	8	0,5	3	2	0,25	0,40	0,80	0,80	0,40	0,25	0,27	316,00	360,20	360,20
P68						6	0,28	2	2	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,09	0,09	34,40	34,40	34,40
P53						6	0,28	2	2	0,20	0,40	0,30	0,30	0,40	0,09	0,07	45,90	36,80	36,80
Parede 1	10	0,79	6	2	0,15						0,20	1,95	1,95	0,20	0,16	0,53	252,30	846,60	846,60
Parede 2	10	0,79	2	4	0,15						1,75	0,20	0,20	1,75	0,53	0,12	758,00	173,50	173,50
Parede 3	10	0,79	18	2	0,15						0,20	5,25	5,25	0,20	0,18	0,53	758,80	2307,60	2307,60
Parede 4	10	0,79	2	6	0,15						2,15	0,20	0,20	2,15	0,53	0,15	935,10	261,90	261,90
Muro existente reto						10	0,28	2	2	0,15	20,75	0,20	0,20	20,75	0,19	0,00	3832,40	173,30	173,30
Muro existente curvo 1						10	0,28	2	2	0,15	6,20	0,25	0,25	6,20	0,15	0,01	1183,00	123,40	123,40
Muro exist reto no pilar 40						10	0,28	2	2	0,15	0,19	0,97	0,97	0,19	0,04	0,20	34,60	157,40	157,40
muro exist reto no pilar PE						10	0,28	2	2	0,15	1,25	0,19	0,19	1,25	0,20	0,03	207,20	35,80	35,80
Muro existente curvo 2						10	0,28	2	2	0,15	0,25	7,30	7,30	0,25	0,01	0,15	145,20	1395,70	1395,70

Relativamente ao critério definido para a escolha do h_i , é o mesmo critério adotado para o cálculo da resistência à flexão, ou seja, dimensão da seção transversal segundo a direção da carga considerada.

Na determinação da percentagem de armadura transversal ρ_{wi} , foi usada a expressão $\rho_{wi} = A_{si} / b_w \times S_h$, para cada direção, sendo b_w , a dimensão da seção transversal, correspondente à direção perpendicular à ação sísmica, e S_h , o espaçamento dos estribos nessa direção.

É importante referir que no cálculo do $V_{C,i}$, o valor a considerar na tensão de corte foi de 0,24 Mpa, o mesmo considerado no livro do LNEC (2019), uma vez que este assume os limites máximos admissíveis descritos no artigo de "Reforço e estruturas de betão armado por encamisamento das secções", por Augusto Gomes e Júlio Appleton. Através da fórmula $\tau_{max} \leq \frac{1}{\gamma_c} \times \frac{2}{3} f_{ctm}$, chegou-se à conclusão que o limite máximo do valor da tensão de corte seria de aproximadamente 0,84 MPa, sendo que o valor para o f_{ctm} usado foi o valor característico da tensão de rotura à tração do betão inicial (B25), o que equivale a um f_{ctm} de 1,9MPa, segundo o REBAP, visto que assume um valor menor ao do material de betão C30/37 a adicionar na reabilitação.

Outro aspeto que se tem que ter em conta no cálculo do $V_{C,i}$, é a consideração do valor mínimo entre L_{Vi}/h_i e 5.

Após a análise desta tabela, é possível constatar a importância que tanto as paredes como os muros, têm na resistência ao corte, comparativamente ao que foi calculado para os pilares. Deste modo, é representada no Quadro 23 a percentagem de influência da resistência ao corte dada aos pilares, bem como às paredes e muros.

Quadro 23 - Resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de corte - Piso 1

Elementos e estruturais verticais	Σ Resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de corte no piso 1 (KN)	%
Pilares	4192,10	43,4
Paredes de núcleo e muros	5475,20	56,6

Em comparação com o piso 1, são apresentados na tabela seguinte os cálculos desta resistência obtida para a cobertura.

No que diz respeito à direção de atuação sísmica considerada no cálculo, considerou-se a ação sísmica a atuar na direção x, por ser a mais condicionante.

No piso associado à cobertura, os pilares sofreram alterações quanto à armadura utilizada, como na área de betão usada, que foi reduzida comparativamente ao visualizado no piso 1. Portanto, é natural constatar que a resistência ao corte cíclico calculada seja menor.

Tabela 10 - Resistência ao corte cíclico dos pilares e paredes do núcleo – Cobertura

Cálculo de V_{c_j} - COBERTURA																	L_y (m) = 3,5		$\tau_c = 0,24$		f_{yw} (Kpa) - Novo - 434783		f_{yw} (Kpa) - Exist. - 289855	
Elementos verticais	Novos					Existestes					L_x (m)	L_y (m)	b_{ux} (m)	b_{uy} (m)	ρ_{ux} (%)	ρ_{uy} (%)	V_{cx} (KN)	V_{cy} (m)	V_c (KN)					
	ϕ_w (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)	ϕ_w (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)														
PB' 6	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90					
PB'7	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90					
PB'5	8	0,5	2	2	0,15						0,40	0,25	0,25	0,40	0,27	0,17	106,30	68,50	106,30					
PB'8	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90					
P31						6	0,28	4	4	0,15	0,60	1,00	1,00	0,60	0,07	0,12	200,60	347,50	200,60					
P37	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60					
P47	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60					
P33						6	0,28	4	4	0,15	0,60	1,00	1,00	0,60	0,07	0,12	200,60	347,50	200,60					
P29	8	0,5	4	2	0,15	6	0,28	4	2	0,20	0,40	0,70	0,70	0,40	0,27	0,24	297,70	279,20	297,70					
P38						6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,40	0,40	0,09	0,09	147,60	147,60	147,60					
P39	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60					
P40						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,09	0,09	61,20	61,20	61,20					
P41						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,09	0,09	61,20	61,20	61,20					
P42	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60					
P46	8	0,5	4	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,60	0,60	0,40	0,28	0,26	264,20	252,70	264,20					
P68						6	0,28	2	2	0,15	0,30	0,30	0,30	0,30	0,12	0,12	44,60	44,60	44,60					
P53						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,30	0,30	0,40	0,12	0,09	59,50	45,90	59,50					
Parede 1	8	0,5	6	2	0,15						0,20	1,95	1,95	0,20	0,10	0,33	163,80	551,50	163,80					
Parede 2	8	0,5	2	4	0,15						1,75	0,20	0,20	1,75	0,33	0,08	493,30	120,50	493,30					
Parede 3	8	0,5	10	2	0,15						0,20	5,25	5,25	0,20	0,06	0,33	282,20	1513,20	282,20					
Parede 4	8	0,5	2	6	0,15						2,15	0,20	0,20	2,15	0,33	0,09	609,80	164,30	609,80					

É de observar, as resistências obtidas destas paredes na cobertura, pois constituem uma significativa porção da resistência ao corte, em referência aos valores obtidos nos pilares, devido ao facto de, conferirem maior rigidez ao edifício. Assim, para uma melhor perceção da redistribuição da resistência de corte repartida pelos elementos estruturais verticais, segue na tabela seguinte a percentagem respetiva.

Quadro 24 - Resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de corte - Cobertura

Elementos e estruturais verticais	Σ Resistência às forças horizontais, associadas ao mecanismo de corte na cobertura (KN)	%
Pilares	2868,60	64,9
Paredes de núcleo	1549,10	35,1

Do exposto acima, é possível verificar que apesar de na passagem do piso 1 para a cobertura, os esforços resistentes associados ao corte das paredes ter diminuído, apresentam uma parcela significativa nesta resistência. O mesmo foi verificado em cada piso, tomando valores entre 37 % e 48 %, sendo por isso

importante considerar a resistência que estas paredes fornecem à resistência global do edifício sob a ação sísmica.

4.2.3 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DO EDIFÍCIO

A partir das resistências calculadas, é necessário selecionar para cada elemento estrutural vertical do edifício, a sua resistência mínima, para que seja possível estimar o coeficiente sísmico relativo à capacidade do edifício. Nesse sentido, é perceptível que a resistência mínima obtida corresponderá ao esforço que atingir primeiro o colapso da estrutura, e por isso, ao verificarmos a segurança atendendo a este pressuposto, estamos deste modo a verificar a vulnerabilidade da estrutura.

Após a análise das resistências de corte e de flexão, é possível verificar que a resistência mais desfavorável corresponde à resistência à flexão para cada elemento vertical. Do mesmo modo, é verificado que a resistência dos restantes pisos do edifício, apresentados no anexo C, ocorre a mesma situação. Assim, apresentam-se as correspondentes V_{Hj} do piso 1 e cobertura.

Tabela 11 - Resistência mais desfavorável para cada elemento vertical – Piso 1 e Cobertura

Elemento Vertical	Piso 1			Piso 2			Piso 3			Cobertura		
	V_{Fj} (KN)	V_{Cj} (KN)	V_{Hj} (KN)	V_{Fj} (KN)	V_{Cj} (KN)	V_{Hj} (KN)	V_{Fj} (KN)	V_{Cj} (KN)	V_{Hj} (KN)	V_{Fj} (KN)	V_{Cj} (KN)	V_{Hj} (KN)
PB' 6	74,55	135,50	74,55	117,85	209,80	117,85	67,89	132,90	67,89	67,89	132,90	67,89
PB'7	74,55	135,50	74,55	117,85	209,80	117,85	67,89	132,90	67,89	67,89	132,90	67,89
PB'5	44,95	132,90	44,95	74,95	132,90	74,95	74,95	132,90	74,95	51,59	68,50	51,59
PB'8	62,63	135,50	62,63	139,67	209,80	139,67	78,82	132,90	78,82	78,82	132,90	78,82
P31	267,25	846,80	267,25	94,34	338,30	94,34	94,34	359,50	94,34	40,58	347,50	40,58
P37	98,16	256,60	98,16	83,24	256,60	83,24	98,16	256,60	98,16	75,80	256,60	75,80
P47	38,81	256,60	38,81	83,24	256,60	83,24	77,15	256,60	77,15	32,41	256,60	32,41
P33	246,24	778,70	246,24	65,84	297,40	65,84	65,84	200,60	65,84	40,58	347,50	40,58
P29	139,68	360,20	139,68	92,06	316,00	92,06	94,62	297,70	94,62	87,29	279,20	87,29
P38	38,82	61,20	38,82	34,59	61,20	34,59	34,59	61,20	34,59	32,41	147,60	32,41
P39	46,50	256,60	46,50	35,66	256,60	35,66	35,66	256,60	35,66	32,41	256,60	32,41
P40	58,20	67,20	58,20	58,20	67,20	58,20	58,20	61,20	58,20	24,10	61,20	24,10
P41	47,92	67,20	47,92	26,53	67,20	26,53	26,53	61,20	26,53	24,10	61,20	24,10
P42	64,43	270,20	64,43	57,68	270,20	57,68	57,68	256,60	57,68	32,41	256,60	32,41
P46	61,92	360,20	61,92	20,85	200,70	20,85	20,85	264,20	20,85	15,38	252,70	15,38
P68	28,05	34,40	28,05	19,54	34,40	19,54	19,54	44,60	19,54	12,47	44,60	12,47
P53	28,05	36,80	28,05	24,10	45,90	24,10	24,10	59,50	24,10	18,11	45,90	18,11
Parede 1	395,83	846,60	395,83	46,92	252,30	46,92	46,92	252,30	46,92	48,59	551,50	48,59
Parede 2	67,45	173,50	67,45	200,81	758,00	200,81	200,81	758,00	200,81	156,46	120,50	120,50
Parede 3	1 534,13	2307,60	1 534,13	139,13	758,80	139,13	139,13	758,80	139,13	79,05	1 513,20	79,05
Parede 4	100,31	261,90	100,31	387,58	935,10	387,58	387,58	935,10	387,58	285,15	164,30	164,30
Muro existente reto	116,94	173,30	116,94									
Muro existente curvo 1	57,01	123,40	57,01									
Muro exist reto no pilar 40	11,79	157,40	11,79									
muro exist reto no pilar PE	14,18	35,80	14,18									
Muro existente curvo 2	64,20	1395,70	64,20									

Desta forma, obtém-se a resistência total dos elementos verticais, correspondente a V_H , associados ao piso 1 e cobertura, respetivamente.

Quadro 25 - Resistência total dos elementos verticais, associados ao piso 1 e cobertura

Piso	ΣV_H (KN)
Piso 1	3782,58
Piso cobertura	1146,66

4.2.3 OBTENÇÃO DO PESO TOTAL DO EDIFÍCIO

O peso total do edifício é função do peso por área resultante da combinação sísmica de ações, definido na expressão (12) do capítulo 2. Deste modo, foi necessário caracterizar a categoria de utilização do edifício em estudo, a partir da norma NP EN 1991-1 (2009), verificando-se que a estrutura está inserida na categoria A, conforme o Quadro 3 do capítulo 2. Logo, os valores usados em Ψ_2 e ϕ são 0,3 e 0,8, respetivamente. Relativamente a $\Psi_{E,m}$, toma o valor de 0,24 nos pisos 1, 2 e 3, enquanto que na cobertura o coeficiente toma o valor de 0,3.

Nesse sentido, obteve-se o peso por área resultante da combinação sísmica de ações, bem como o peso total de cada piso, representado na tabela abaixo.

Tabela 12 - Peso total por piso

Piso	$G_{K,j}$ [KN/m ²]	$\Psi_{E,i}$	$Q_{K,i}$ [KN/m ²]	$A_{S,j}$ [KN/m ²]	$W_{E,j}$ [KN/m ²]	W_E [KN]
Piso 1	9,45	0,24	2	291,483	9,93	2894,43
Piso 2	8,7	0,24	2	291,483	9,18	2675,81
Piso 3	9,45	0,24	2	291,483	9,93	2894,43
Cobertura	9,25	0,3	2	300,483	9,85	2959,76

Os pesos próprios, adotadas na coluna 2, foram os consideradas no projeto, correspondentes a lajes, revestimentos e paredes e encontram-se especificados no Quadro 26.

Quadro 26 - Quadro de pesos próprios

Piso	Pesos próprios considerados			
	Paredes interiores (KN/m ²)	Revestimentos (KN/m ²)	Laje (KN/m ²)	Peso de pilares e vigas (KN/m ²)
Piso corrente	0,7	0,5	6,25(Laje - e=0,25m) 5,50 (Laje - e=0,22m)	2
Piso da cobertura	0	2,0	6,25	1

Relativamente às sobrecargas, foram consideradas as de projeto, correspondendo a 2 KN/m² em todos os pisos do edifício, inclusive a cobertura.

Assim, após a obtenção do peso total de cada piso, é possível determinar o coeficiente que retrata a capacidade resistente para cada piso, e dessa forma comparar com o coeficiente sísmico exigido em cada piso, para verificar a vulnerabilidade sísmica do edifício.

4.2.4 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA

Nesta fase, torna-se possível a determinação do coeficiente sísmico que descreve a resistência de cada piso do edifício, calculada a partir da expressão (10), retratada no capítulo 2. Desta forma, são apresentados os valores obtidos para cada piso do edifício.

Tabela 13 - Coeficiente sísmico do edifício

CS _{c,j} - Coeficiente sísmico do edifício			
Piso	V _{H,j}	W _E	CS _{c,j}
	[KN]	[KN]	
Piso 1	3782,58	2894,43	1,31
Piso 2	1920,63	2675,81	0,72
Piso 3	1771,24	2894,43	0,61
Cobertura	1146,66	2959,76	0,39

Posto isto, torna-se necessário conhecer o coeficiente sísmico exigido em cada piso. Por isso, numa primeira fase, é obtido o coeficiente sísmico global para o edifício constituído por 4 pisos, fundado no terreno tipo C, para a ação sísmica tipo 1 e 2, a partir do Quadro 4 do capítulo 2.

Quadro 27 - Coeficiente sísmico exigido

Ação sísmica	CS _E
Ação sísmica tipo 1 (afastada)	0,19
Ação sísmica tipo 2 (próximo)	0,07

Como pode ser verificado, a ação sísmica tipo 1 é mais exigente, ao nível da limitação do coeficiente sísmico, sendo por esta razão que a comparação dos coeficientes sísmicos irá ser analisada apenas para a ação sísmica tipo 1. Deste modo, é necessário proceder à definição da exigência para cada piso, tendo por base o coeficiente η_j apresentado na Tabela 2 do capítulo 2.

Tabela 14 - Coeficiente sísmico do exigido

CS _{E,j} - Coeficiente sísmico exigido				
Piso	n _j	CS _E	CS _E	CS _{E,j}
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 1
Piso 1	1	0,19	0,07	0,19
Piso 2	0,9			0,17
Piso 3	0,7			0,13
Cobertura	0,4			0,08

Assim, comparando os dois coeficientes obtidos, é possível verificar se é satisfeito para cada piso a expressão (9), mencionada no capítulo 2, que está apresentada no Quadro 28.

Quadro 28 - Verificação da segurança sísmica para todos os pisos

Piso	CS _{c,j}	CS _{E,j}	CS _{c,j} ≥ CS _{E,j}
Piso 1	1,31	0,19	O.K.
Piso 2	0,72	0,17	O.K.
Piso 3	0,61	0,13	O.K.
Cobertura	0,39	0,08	O.K.

Logo, através da análise da tabela acima, pode-se constatar que o edifício não apresenta vulnerabilidade sísmica, na aplicação da metodologia II. No entanto, é necessário verificar o mesmo para a metodologia I, uma vez que esta caracteriza-se por ser mais conservativa do que a anterior e por ter em conta os valores que um certo edifício deve apresentar em termos de capacidade ao corte.

4.3 AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA SEGUNDO O MÉTODO I

Neste método, tal como referido no capítulo 2, irão ser comparadas propriedades geométricas das secções de elementos verticais.

A relação da área dos elementos verticais de cada piso pela área do respetivo piso, $A_{p,j}$, está representada na tabela seguinte:

Tabela 15 - $A_{p,i}$ - Percentagem de área de todos os elementos verticais de um piso

Piso	$\sum A_{pi}$	A_{pi}	$A_{p,j}$
Piso 1	14,81	291,483	5,082
Piso 2	6,32	291,483	2,167
Piso 3	6,57	291,483	2,254
Cobertura	6,75	300,483	2,245

Posteriormente, conforme referido no capítulo 2, através da observação do Quadro 5, foi possível determinar a área de pilares exigida, expressa em percentagem da área de implantação. No entanto, esta área é referente ao piso 1 do edifício a analisar. Para se obter as áreas de pilares exigidas em cada piso tem que se conhecer o coeficiente, η_j , usado também no método II, e assim, aplicando a expressão (22), é possível obter os seguintes resultados, para cada piso.

Tabela 16 - $A_{PE,j}$ - Percentagem de área de pilares exigida no piso

Piso	$A_{PE,1}$	η	$A_{PE,j}$
Piso 1	2,5	1	2,500
Piso 2		0,9	2,250
Piso 3		0,7	1,750
Cobertura		0,4	1,000

Através dos resultados obtidos, consegue-se verificar a segurança, analisando em cada piso, se a percentagem da área dos elementos existentes, satisfaz a percentagem de área de elementos exigida. Esta comparação é demonstrada na tabela seguinte.

Tabela 17 - Verificação de segurança

Piso	$100\% \cdot A_{PE,j}$	$A_{PC,j}$	Verificação
Piso 1	2,50	5,082	O.K
Piso 2	2,25	2,167	K.O
Piso 3	1,75	2,254	O.K
Cobertura	1,00	2,245	O.K

$$A_{PC,j} \geq A_{PE,j}$$

Assim, através da observação da Tabela 17, é possível concluir que o método I, não verifica a segurança sísmica para o piso 2, logo não são verificadas as exigências para 100% da ação sísmica.

No entanto, é mencionado na portaria 302/2019, no n.º 3 do artigo 1.º, que caso o relatório de vulnerabilidade sísmica não satisfaça as exigências de segurança relativas a 90 % da ação definida na NP EN 1998-3 (2017), é obrigatório a elaboração do projeto de reforço. Portanto, nesse sentido, vai ser necessário aplicar a metodologia I para 90 % da ação sísmica, definida na expressão (12) do capítulo 2.

Uma vez que não é verificada a segurança no piso 2, será apresentada na Tabela 18 a folha de cálculo relativa a este método para 90% da combinação sísmica de ações. No entanto, é apresentado no anexo C as folhas de cálculo relativas à aplicação deste método para todos os pisos.

Tabela 18 - Verificação da segurança para 90% de combinação sísmica de ações – Piso 2

PISO2

- Peso próprio da laje	5,5 KN/m ²
- Peso próprio dos revestimentos	0,5 KN/m ²
- Peso das paredes divisórias	0,7 KN/m ²
- Peso próprio de vigas e pilares	2 KN/m ²
- Sobrecarga q /coefic $\Psi_{E,i}$	0,48 KN/m ²
	8,262 KN/m ²

$n =$	4
$CS_E =$	0,19
$W_E =$	8,262
$A_{p,i} =$	291,483

Elementos verticais	$V_{F,i}$	$V_{C,i}$	$\min(V_{C,i}, V_{F,i})$	L_x (m)	L_y (m)	A_i (m ²)	$A_{p,i}$ (m ²)	$\tau_{M,i,j}$ (KPa)	$\tau_{M,i}$ (KPa)	$A_{PE,i}$ (%)	$A_{PC,i}$ (%)
PB'6	117,85	209,80	117,85	0,75	0,25	0,19	6,32	628,52	334,97	1,687	2,167
PB'7	117,85	209,80	117,85	0,75	0,25	0,19		628,52			
PB'5	74,95	132,90	74,95	0,50	0,25	0,13		599,62			
PB'8	139,67	209,80	139,67	0,75	0,25	0,19		744,91			
P31	94,34	338,30	94,34	0,60	0,60	0,36		262,07			
P37	83,24	256,60	83,24	0,60	0,60	0,36		231,21			
P47	83,24	256,60	83,24	0,60	0,60	0,36		231,21			
P33	65,84	297,40	65,84	0,60	0,60	0,36		182,90			
P29	92,06	316,00	92,06	0,40	0,80	0,32		287,70			
P38	34,59	61,20	34,59	0,40	0,40	0,16		216,18			
P39	35,66	256,60	35,66	0,60	0,60	0,36		99,06			
P40	58,20	67,20	58,20	0,40	0,40	0,16		363,77			
P41	26,53	67,20	26,53	0,40	0,40	0,16		165,78			
P42	57,68	270,20	57,68	0,60	0,60	0,36		160,23			
P46	20,85	200,70	20,85	0,40	0,60	0,24		86,89			
P68	19,54	34,40	19,54	0,30	0,30	0,09		217,09			
P53	24,10	45,90	24,10	0,40	0,30	0,12		200,86			
Parede núcleo 1	46,92	252,30	46,92	0,20	1,95	0,39		120,30			
Parede núcleo 2	200,81	758,00	200,81	1,75	0,20	0,35		573,73			
Parede núcleo 3	139,13	758,80	139,13	0,20	5,25	1,05		132,50			
Parede núcleo 4	387,58	935,10	387,58	2,15	0,20	0,43		901,35			

O.K.

Para o cálculo da tensão transversal equivalente, representada nesta tabela, foi aplicada a expressão (21) do capítulo 2, sendo as áreas do piso apresentadas no capítulo 3, e as resistências do aço, os valores adotados no método II.

A determinação da tensão transversal equivalente, representada na última coluna da tabela, foi calculada através da média dos valores obtidos na coluna anterior.

Deste modo, para a obtenção da área de pilares exigida necessitou-se de calcular as cargas correspondente à combinação de ações, conforme a expressão (12). Neste caso, foram adotadas todas as cargas usadas no método II, e multiplicou-se por 0,90, para atender à portaria 302/2019.

Assim, tendo em conta o referido, apresenta-se na tabela seguinte, a percentagem de área de elementos verticais exigida para 90% da ação sísmica, e a área de pilares existente, para cada piso.

Tabela 19 - Verificação da segurança para 90% de combinação sísmica de ações em cada piso

Piso	$AP_{E,j}$	$AP_{C,j}$	
Piso 1	2,380	5,082	O.K.
Piso 2	1,687	2,167	O.K.
Piso 3	1,502	2,254	O.K.
Cobertura	1,157	2,245	O.K.

$$A_{PC,j} \geq A_{PE,j}$$

É possível observar, que é verificada a segurança por este método.

Verificada as duas metodologias, de acordo com a portaria, não é necessário a execução de um projeto de reforço sísmico.

5 ANÁLISE PUSHOVER

É mencionado no relatório 81/2019, a existência de um método III, também designado por método de referência, onde a verificação da vulnerabilidade sísmica é realizada com recurso às expressões existentes no Eurocódigo 8 – Parte 3, que manifestam a resistência dos elementos estruturais. Assim, é possível concluir sobre a vulnerabilidade da estrutura, ao analisar para o deslocamento exigido, através da análise Pushover, as capacidades em cada elemento estrutural ultrapassarem as exigências. Caso isso não ocorra, é necessário verificar se para 90% da ação sísmica, são verificadas as capacidades dos elementos estruturais. Neste capítulo serão analisados estes pressupostos. A metodologia simplificada a usar na análise Pushover, será a metodologia N2, referida na NP EN 1998-1 (2010).

No que diz respeito à análise Pushover, é possível através de uma análise não linear, obter os resultados relativos a essas expressões, bem como o nível de exigência necessário para uma determinada ação sísmica. Devido ao facto de, através da interação entre a curva de capacidade para o sistema SDOF (single degree of freedom) e o espetro de resposta onde é definida a exigência, permitir uma estimativa do deslocamento exigido na estrutura. Desta forma, é possível verificar a vulnerabilidade estrutural ao comparar o rácio obtido entre a exigência e capacidade entre cada elemento, para esse deslocamento-alvo.

É ainda possível identificar os mecanismos de colapso nos elementos estruturais, e assim, precisar os elementos mais “fracos”, tendo em conta a redistribuição de forças que ocorre na estrutura durante a cedência dos mesmos.

No presente capítulo, irão ser analisadas o Pushover em dois programas de cálculo, o ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS e o SeismoStruct. Deste modo, vão ser descritos o processo de modelação, bem como conclusões obtidas por cada um dos softwares mencionados.

É de referir que em cada um dos softwares referidos, irá ser realizada uma modelação tridimensional, atendendo ao exposto no NP EN 1998-1 (2010), uma vez que o edifício não cumpre os critérios definidos para a regularidade em planta, como verificado no capítulo 3.

5.1 ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS

A determinação da capacidade do edifício é baseada na resistência e deformação existente em cada elemento estrutural. Para a determinação dessas capacidades após atingir o limite elástico, é necessário recorrer aos métodos não lineares.

Para atender ao referido, irá adotar-se a análise Pushover no Robot Structural Analysis.

Foi realizado a modelação do edifício, conforme ilustrado na Fig. 16, usando-se na criação da malha de elementos finitos, o método Delaunay.

Seguidamente, procedeu-se a uma análise modal necessária para se ter condições para a realização da análise Pushover. A ação sísmica considerada, foi a resultante da combinação de ações sísmicas, expressa na expressão (12) do capítulo 2, adotando nos coeficientes os valores 0,24 e 0,3 para os pisos correntes e cobertura, respetivamente, como referido anteriormente.

Após a realização desta análise, procedeu-se à adoção de um deslocamento arbitrário para o nó de controlo situado no centro de gravidade da cobertura, que foi de 30 cm.

Nesse sentido, importa referir que uma das etapas fundamentais para esta análise está na realização de uma análise inelástica dos materiais, com o objetivo de simular a resposta pós elástica dos sistemas estruturais, (Pereira, Barros *et al.*, 2009).

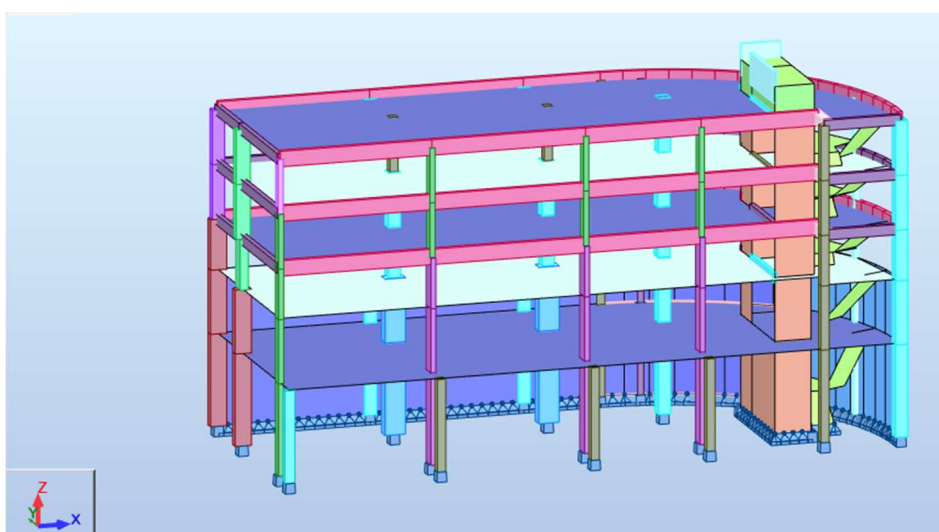


Fig. 16 – Modelação 3D no Robot

Assim, após a colocação de rótulas não lineares em ambas as extremidades das vigas e pilares, procedeu-se ao cálculo automático do programa. Deste modo, obtém-se a seguinte curva, representada na Fig. 17, relativa ao somatório das forças de corte na base da estrutura-deslocamento do nó de controlo.

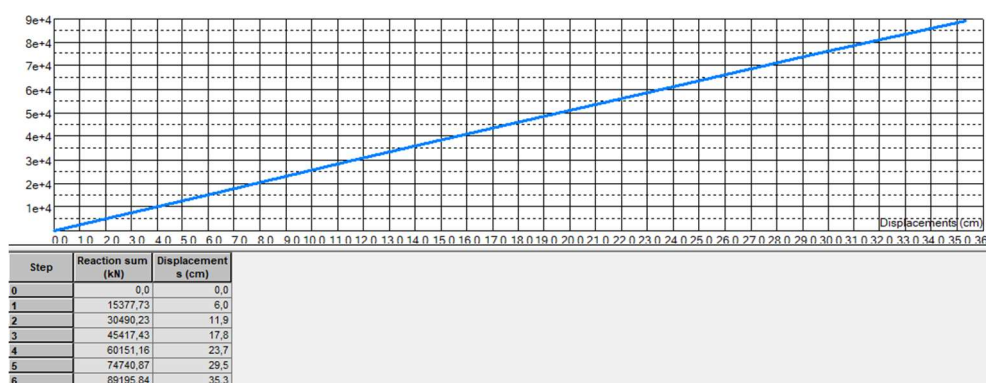


Fig. 17 – Curva de capacidade no Robot

A partir desta imagem, é possível constatar que após o nó de controlo atingir um deslocamento de 35,3 cm, ainda não é atingido a zona elástico plástica na curva de capacidade. De notar que foi simulado vários valores de deslocamento, tendo sido obtido gráficos semelhantes.

Deste modo, constatou-se que não é possível realizar uma análise elástico plástica, para o betão no ROBOT. Consultado a Autodesk, verifica-se que atualmente este programa apenas permite este tipo de análise para secções de aço.

É de realçar que a análise elástico-plástica é responsável pela representação do comportamento não linear do material. Desta forma, não foi possível extrair resultados desta análise no Robot, uma vez que este não permite a análise inelástica dos materiais de betão, que consiste num dos passos fundamentais para a obtenção da curva de capacidade.

5.2 MODELAÇÃO NO SEISMOSTRUCT

No que diz respeito à aplicação da análise Pushover, o primeiro passo corresponde à adequada modelação num software que tenha em conta a não linearidade dos materiais. Assim, procedeu-se à modelação do edifício em análise no SeismoStruct (2018), como também utilizado anteriormente por Valdir Pereira (2009), e Barros e Cesar (2010).

Torna-se importante realçar que, apesar de se proceder à modelação das vigas existentes no edifício com a respetiva armadura, irá apenas ser verificada a segurança dos pilares, uma vez que os pilares possuem uma ductilidade menor relativamente às vigas, pois para a ocorrência de um mecanismo de colapso nos pilares são apenas necessários a formação de rótulas plásticas nas suas extremidades.

Além disso, é de referir que numa fase inicial irá ser tida em conta nesta análise as alturas fictícias do edifício, referidas no capítulo 3, com o objetivo de se conseguir comparar os resultados obtidos com os dos métodos expeditos determinados no capítulo 4.

Seguidamente, será usado as alturas reais do edifício, por forma a comparar e analisar a influência que as alturas dos pilares assumem no comportamento sísmico do edifício.

5.2.1 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS

No que se refere aos tipos de materiais usados na modelação do edifício, foram considerados dois tipos. Para o aço, usou-se o modelo Giuffre-Menegotto-Pinto – stl mp, que tem em conta o comportamento não linear do material, em que a transição do fenómeno elástico para o plástico é descrita pelo Modelo Giuffre-Menegotto-Pinto.

As classes usadas para o aço foram as descritas no capítulo 3, ou seja, o A400NR elementos verticais existentes e A500NR para elementos novos. Assim, é representado na Fig. 18 o comportamento histerético do respetivo modelo.

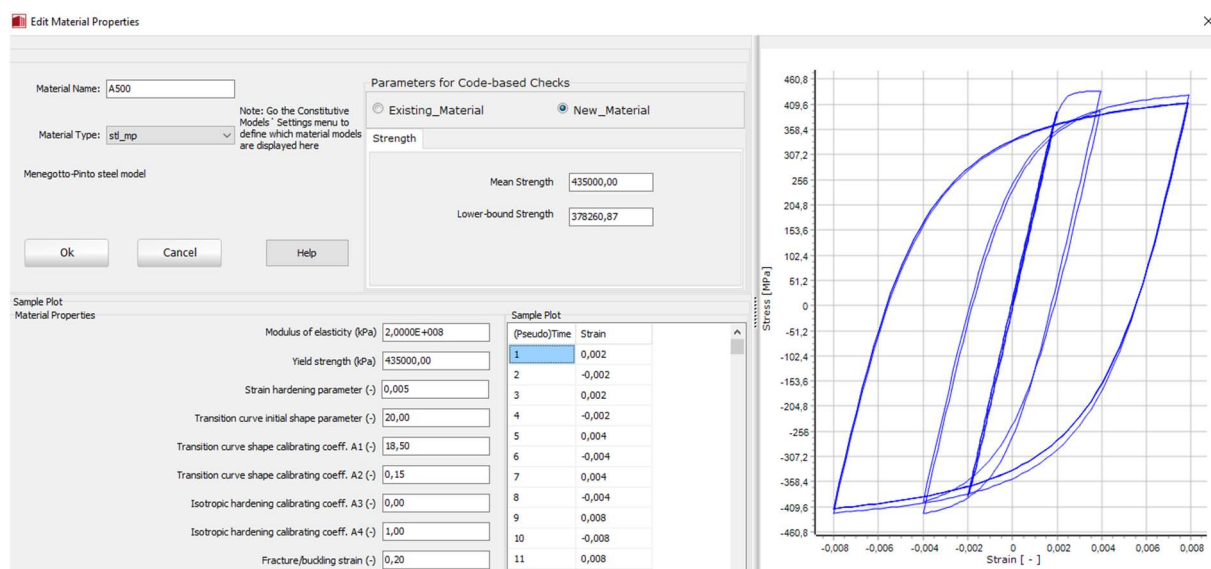


Fig. 18 - Comportamento histerético para o aço A500NR

Relativamente ao betão, o modelo usado foi o modelo com endurecimento isotrópico Giuffre-Menegotto-Pinto – stl_gmp. Este modelo corresponde a um modelo uniaxial não linear que segue a relação constitutiva proposta por Mander et al. [1988]. As classes usadas no betão foram as descritas pelo capítulo 3, ou seja, C30/37 para elementos novos e C20/25 para elementos existentes. O comportamento histerético deste modelo para a classe C30/37, encontra-se definida na imagem Fig. 19.

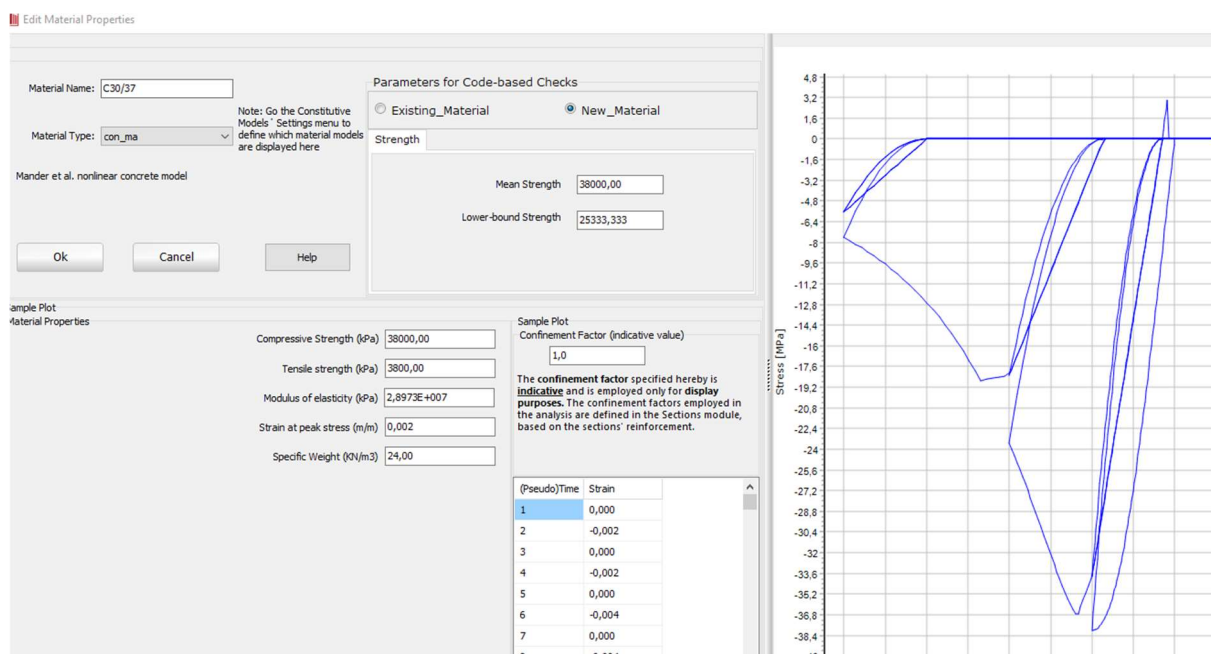


Fig. 19 - Comportamento histerético para a classe de betão C30/37

Atendendo aos pressupostos a adotar na modelação estrutural, segundo o NP EN 1998-1 (2010), a rigidez dos elementos resistentes foi avaliada, considerando o efeito da fendilhação, tomada como a correspondente ao ponto de cedência definido por M_y e θ_y .

Relativamente à aplicação do coeficiente de confiança para a obtenção da resistência dos materiais, será adotado o nível de conhecimento correspondente ao KL2, conforme explicado no capítulo 4.

5.2.2 DISTRIBUIÇÃO DA NÃO LINEARIDADE

No SeismoStruct, o modelo usado na modelação relativos à não linearidade do material, é distribuída através do modelo das fibras que traduz o comportamento da secção transversal, onde cada fibra do elemento, está relacionada através de uma função representada pela tensão-deformação uniaxial. Este modelo traz muitas vantagens, destacando-se a desnecessidade na introdução de componentes de resposta histerética.

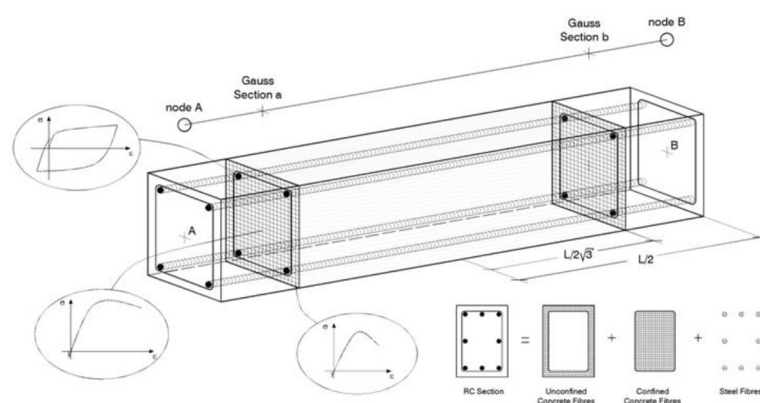


Fig. 20 - Discretização de uma típica secção de betão armado – Modelo das fibras

O valor adotado para a definição das secções dos elementos estruturais foi definido pelo programa, onde é possível o seu cálculo automático. Nesse sentido, o SeismoStruct (2022) define o número de fibras consoante a área da respetiva secção transversal a ser analisada.

Quadro 29 – Número de fibras

Modelo de fibras	
Área da secção transversal	Nº de fibras adotadas pelo programa
$A < 0.1\text{m}^2$	50
$A > 1\text{m}^2$	200
$A \in [0.1; 1] \text{ m}^2$	Realizada uma interpolação linear, de acordo com o número de fibras de 50 e 200.

Para além do definido acima, cada varão longitudinal de aço é tido como uma fibra, assim, no programa são adicionados ao número de fibras resultante da área transversal do elemento, o derivado da armadura longitudinal, de acordo Computers & Structures INC. (2009).

5.2.3 IMPLEMENTAÇÃO DA ARMADURA E SUA MODELAÇÃO

A implementação das armaduras foi realizada nos pilares, adotando as secções adaptadas pelo programa, para elementos reforçados em betão armado, conforme ilustrado na seguinte imagem.

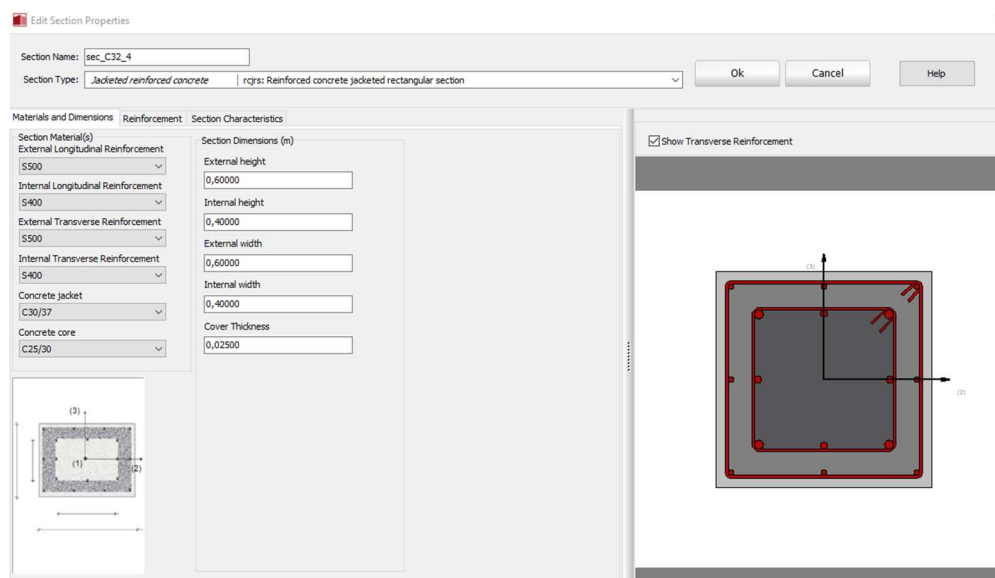


Fig. 21 - Secções dos pilares com necessidade de reforço

Relativamente às paredes de núcleo, foi efetuado o levantamento da sua armadura, detalhada no anexo B.2 e foi adotada a secção retangular denominada reinforced concrete rectangular no “pseudo-columns Wall section-rcbws”, com espessura de 0,2 m pra todos os pisos, conforme ilustrado na Fig. 22.

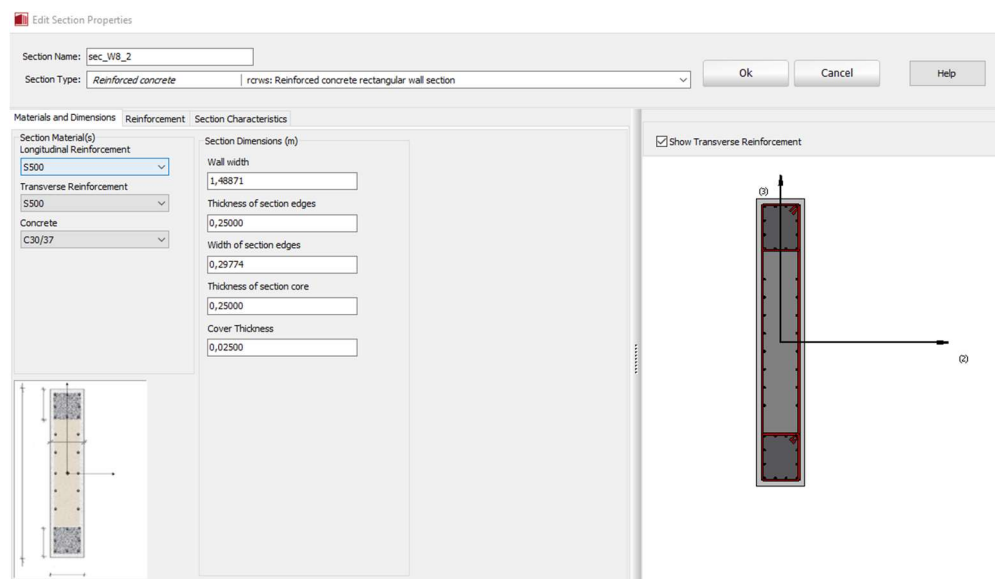
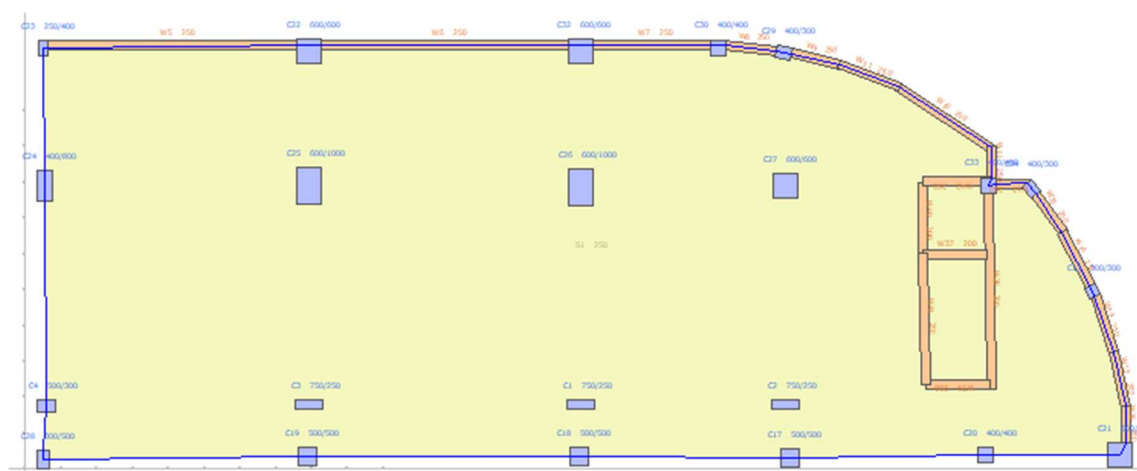


Fig. 22 – Secções das paredes do núcleo

Nos muros existentes, adotou-se a armadura apresentada em anexo, sendo $\phi 10/0,15$, para armadura vertical e horizontal. A secção que foi adotada foi a mesma assumida para as paredes de núcleo.

Na modelação da laje, foram adotados diafragmas rígidos, assumindo que funcionavam como um corpo rígido, que transfere as cargas para os restantes elementos estruturais, sem participar na dissipação da energia na análise sísmica, considerando o seu funcionamento em regime elástico, Computers & Structures INC. (2009). Relativamente à armadura nas lajes, foram consideradas a constante do projeto original e após remodelação.

Assim, depois de se associar os materiais, secções e armaduras a cada um dos elementos estruturais, pertencentes ao edifício, bem como, verificada a sua correta ligação, obteve-se as respetivas plantas, conforme exemplificado abaixo.



Nas condições acima expostas, apenas uma delas é necessário analisar, sendo ela a correspondente aos efeitos de 2.^a ordem. Uma vez que o rácio dos pilares resultante do comprimento do vão livre, e a maior dimensão da secção transversal, assume, para cada piso, um valor inferior a 2, limite definido pelo método Japonês, definido no capítulo 2, é possível constatar a existência de pilares curtos na estrutura. Desta forma, os efeitos de 2.^a ordem não trazem impactos significativos para o edifício em estudo.

Uma vez que se vai efetuar a análise Pushover para os pilares com altura fictícia, é necessário calcular o coeficiente de sensibilidade ao deslocamento relativo entre pisos. Segundo o NP EN 1998-1 (2010) (2010), esse coeficiente tem que ser inferior a 0,10, para que os efeitos de 2.^a ordem possam ser desprezados. Assim, e de acordo com a expressão seguinte, calculou-se o coeficiente de sensibilidade para cada piso, como apresentado no Quadro 30 e Quadro 31.

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0,10 \quad (45)$$

Em que:

θ - coeficiente de sensibilidade ao deslocamento relativo entre pisos;

P_{tot} - carga gravítica total devida a todos os pisos acima do piso considerado, incluindo este, na situação de projeto sísmica;

d_r - valor de cálculo do deslocamento relativo entre pisos, avaliado como a diferença entre os deslocamentos laterais médios d_s no topo e na base do piso considerado;

h - altura entre pisos.

Quadro 30 – Coeficiente de sensibilidade na direção x

Piso	P_{tot} (KN)	d_r (m)	V_{tot} (KN)	H (m)	θ	Verificação
Cob. Superior- Cave	129852	0,020	7604	5,0	0,0683	O.K.
Cob. Superior- Piso 1	85511	0,010	7528	5,0	0,0227	O. K
Cob. Superior- Piso 2	65210	0,008	4183	4,0	0,0312	O. K
Cob. Superior- Piso 3	33597	0,005	3155	3,5	0,0152	O. K
Cob. Superior- Cobertura	8737	0,002	3120	3,5	0,0016	O. K

Quadro 31 - Coeficiente de sensibilidade na direção y

Piso	P_{tot} (KN)	d_r (m)	V_{tot} (KN)	H (m)	θ	Verificação
Cob. Superior- Cave	129852	0,0260	62626	5,0	0,0108	O.K.
Cob. Superior- Piso 1	85511	0,0175	15305	5,0	0,0196	O. K
Cob. Superior- Piso 2	65210	0,0100	4530	4,0	0,0360	O. K
Cob. Superior- Piso 3	33597	0,0025	3650	3,5	0,00658	O. K
Cob. Superior- Cobertura	8737	0,0007	2618	3,5	0,00668	O. K

É de referir, que o edifício em estudo, não assenta em solos muito moles, uma vez que, como já demonstrado no subcapítulo 3.2.1, é pertencente ao tipo de terreno C, definido no NP EN 1998-1 (2010).

Assim, não é verificado nenhuma das condições acima definidas, por essa razão, não é necessário a consideração da interação solo-estrutura na modelação do edifício a analisar.

5.2.5 ESTIMATIVA DOS EFEITOS DE TORÇÃO

No que se refere à estimativa dos efeitos de torção, segundo estabelecido o NP EN 1998-3 (2017), determinou-se os valores de raio de torção e o raio de giração para a direção x e y, para cada piso, como exemplificado na Tabela 20, para a cave. Verificou-se que o caso em estudo não é uma estrutura torsionalmente flexível, pelo que não se teve em conta este efeito.

Tabela 20 - Raio de torção e o raio de giração para a direção x e y

Verificação	Direção x			Direção y		
$e_{0x} \leq 0.30 \cdot r_x$	0,3rx	eo,x	OK	0,3ry	eo,y	OK
	7,86	8		3,25	2,71	
$r_x \geq l_s$	rx	ls,x	OK	ry	ls,y	OK
	26,19	6		10,82	9,45	

5.3 ANÁLISE PUSHOVER NO SEISMOSTRUCT

Depois de se atender ao que foi descrito, obteve-se a representação espacial do edifício, como ilustrado na Fig. 24.

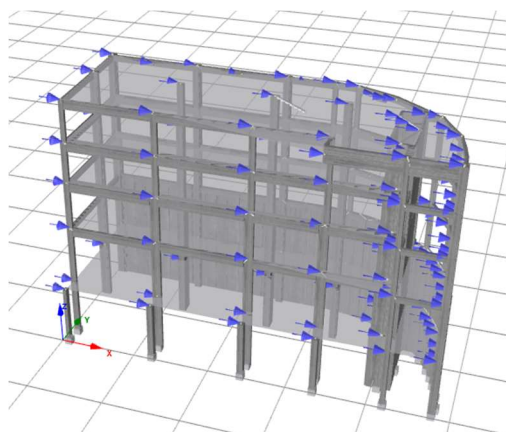


Fig. 24 – Modelação 3D do edifício

Nesta fase, irão ser adotadas os critérios descritos no capítulo 2 para a aplicação do método N2, segundo a NP EN 1998-1 (2010).

5.3.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA N2

Para se proceder à análise Pushover, é necessário, como já referido, definir o espectro de resposta elástico, associado a 1 G.L, que irá permitir quantificar a exigência sísmica, durante esta análise. Assim, é necessário proceder à definição da ação sísmica, através do seu espectro de resposta no SeismoStruct, (2022) apresentado no capítulo 3, que se encontra representado na imagem abaixo para a ação sísmica tipo 1 e tipo 2, respetivamente.

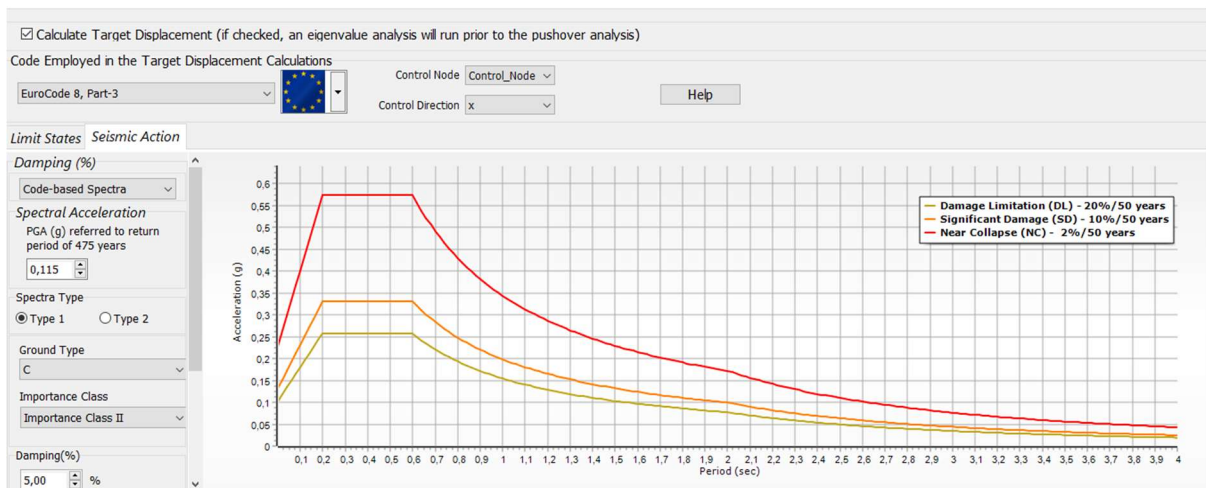


Fig. 25 - Espectro de resposta elástica para a ação sísmica tipo 1, atendendo aos SD.

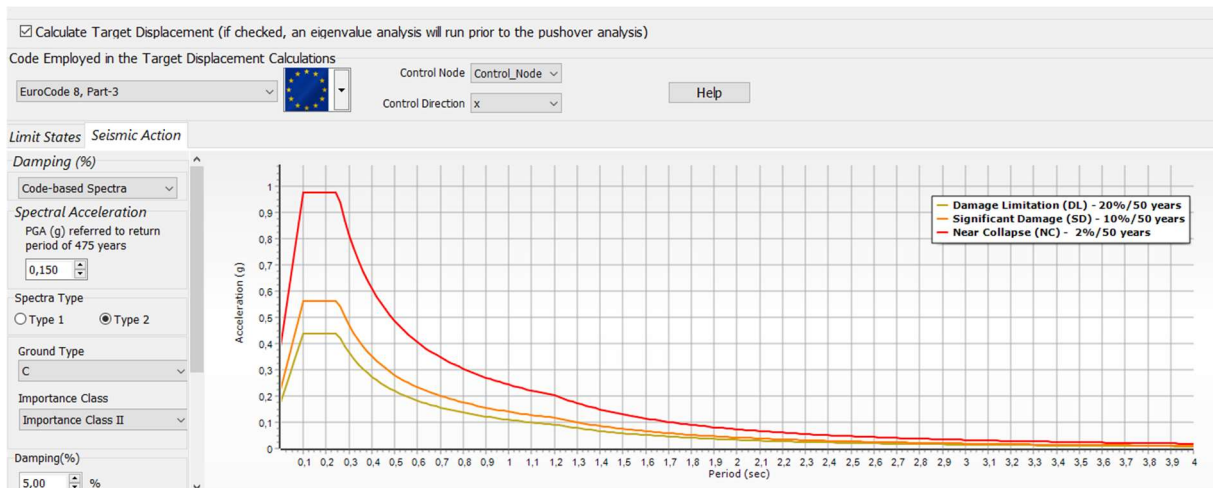


Fig. 26 - Espectro de resposta elástica para a ação sísmica tipo 2, atendendo aos SD.

Através da Fig. 25, é possível observar que o respetivo espectro de resposta está a ter em conta o estado limite de danos severos (SD). Portanto, é definido a aceleração de pico à superfície admitindo um período de retorno de 475 anos, de cerca de $1,125 \text{ m/s}^2$ (0,115 g). A partir da imagem ilustrada na Fig. 26, é possível verificar que se adotou a aceleração de pico de $1,428 \text{ m/s}^2$ (0,150 g). Relativamente ao nó da cobertura que irá ser usado na análise como nó de controlo, corresponde ao centro de gravidade da cobertura.

Outro aspeto relevante na aplicação desta análise é a aplicação das cargas laterais. Neste contexto, o software distribui automaticamente as cargas laterais aos seus nós estruturais, de acordo com a respetiva massa concentrada, como se pode verificar na Fig. 24. Para além disso, as cargas que vão ser aplicadas ao modelo, são do tipo incrementais e irão ser definidas pelo “Response Control”, onde é necessário especificar um valor máximo para o deslocamento nó de controlo, e verificar se a curva de capacidade que se obtém atinge a zona plástica. As fases de carga aplicadas no SeismoStruct (2022) são aplicadas através de fatores de carga que o programa define, até que se atinge o deslocamento pretendido no nó de controlo. Portanto, o SeismoStruct (2022) na aplicação da análise Pushover tem em conta as cargas gravíticas, como também as cargas incrementais definidas no programa, de acordo Computers & Structures INC. (2009).

5.3.2 CARGAS ADOTADAS NA ANÁLISE

Para a obtenção da curva de capacidade, irão ser tidas em conta a análise estática do Pushover uniforme e a análise adaptativa Pushover. Relativamente ao padrão de cargas laterais a aplicar na análise estática Pushover, irão ser usadas duas.

O primeiro padrão de carga a adotar será uma distribuição uniforme, onde as forças laterais a aplicar na estrutura são proporcionais à massa. Em referência ao segundo padrão de cargas a utilizar, irá ser usada a análise adaptativa de pushover, baseado no pressuposto que os padrões de carga aplicados para cada piso, são calculadas separadamente para cada modo de vibração, usando a combinação quadrática completa. Portanto as forças horizontais a aplicar nesta análise são atualizadas, de acordo com os valores obtidos de uma análise preliminar Eigenvalue, nomeadamente nas formas modais e fatores de participação modais. Assim, a partir desta análise, o estado de rigidez em cada etapa, como também os efeitos de modos mais elevados são contabilizados, Antoniou (2006).

Estas análises irão ser realizadas para os dois tipos de ação sísmicas 1 e 2, bem como para as duas direções ortogonais x e y.

5.3.3 ANÁLISE ESTÁTICA PUSHOVER CONSIDERANDO PÉS DIREITOS FICTÍCIOS

A partir do software, com a aplicação dos fatores de carga, associados à carga lateral no edifício e o deslocamento obtido para cada um deles, foi possível, conhecer a curva de capacidade, uma vez que antes de qualquer cálculo, na análise Pushover, é realizado automaticamente uma análise Eigenvalue, que permite o cálculo das massas nodais, bem como, modos de vibração, necessários para a obtenção da curva idealizada. Assim, é possível descobrir a força de cedência e o seu respetivo deslocamento associado ao limite de plasticidade, bem como a rigidez elástica e o deslocamento-alvo associado ao sistema SDOF.

Desta forma, analisou-se previamente os parâmetros mencionados, para a ação sísmica tipo 1 e 2, como também para as duas análises Pushover, tendo em consideração os efeitos acidentais de torção descritos no capítulo 2, que se encontram representados nos seguintes quadros.

Quadro 32 – Deslocamento -alvo

Análise estática Pushover adaptativa	Ação sísmica	Direção da ação sísmica	Deslocamento-alvo (m)
	Ação sísmica tipo 1	Segundo +X exc +	0,03820
		Segundo +X exc -	0,03810
		Segundo -X exc +	0,03660
		Segundo -X exc -	0,03640
		Segundo +Y exc +	0,05760
		Segundo +Y exc -	0,05740
		Segundo -Y exc +	0,07597
		Segundo -Y exc -	0,07671
	Ação sísmica tipo 2	Segundo +X exc +	0,03087
		Segundo +X exc -	0,03084
		Segundo -X exc +	0,03411
		Segundo -X exc -	0,03424
		Segundo +Y exc +	0,04074
		Segundo +Y exc -	0,04066
		Segundo -Y exc +	0,05386
		Segundo -Y exc -	0,05458

Análise estática Pushover Uniforme	Ação sísmica	Direção da ação sísmica	Deslocamento-alvo (m)
	Ação sísmica tipo 1	Segundo +X exc +	0,02613
		Segundo +X exc -	0,02607
		Segundo -X exc +	0,02467
		Segundo -X exc -	0,02525
		Segundo +Y exc +	0,04367
		Segundo +Y exc -	0,04394
		Segundo -Y exc +	0,04815
		Segundo -Y exc -	0,04912
	Ação sísmica tipo 2	Segundo +X exc +	0,02574
		Segundo +X exc -	0,02520
		Segundo -X exc +	0,02491
		Segundo -X exc -	0,02560
		Segundo +Y exc +	0,03374
		Segundo +Y exc -	0,03385
		Segundo -Y exc +	0,03543
		Segundo -Y exc -	0,03579

Após a análise de todos os casos acima definidos, verifica-se que os deslocamentos-alvo obtidos para a direção y são maiores do que os obtidos para a direção x. Este facto, deve-se à existência do muro com grandes desenvolvimentos longitudinais, que se repete por dois pisos, bem como às dimensões das secções de pilares representarem maiores valores segundo a direção x. Consequentemente, provocam um impacto significativo na inércia segundo a direção y. Assim, admite-se que as secções transversais

de pilares e paredes possuem uma maior rigidez segundo x , e desta maneira, um menor deslocamento é verificado segundo esta direção.

Outro aspeto relevante desta análise dos deslocamentos verificados, foi o facto de os deslocamentos obtidos pela análise estática Pushover adaptativa, tomaram maiores valores relativamente à análise estática Pushover uniforme. Este facto, é explicado pela adoção de cargas nesta análise, que são crescentes em altura, levando a um aumento dos esforços de corte nos pisos superiores, e, portanto, uma maior deformação, Gonçalves (2011).

Portanto, a partir das tabelas apresentadas acima, constatou-se que os valores obtidos para o deslocamento-alvo tomaram o maior valor para a análise estática Pushover adaptativa, bem como para a ação sísmica tipo 1. Desta forma, vamos prosseguir esta análise com os valores obtidos para o caso mencionado.

Após o cálculo do programa, é possível obter a seguinte deformada referente à ação sísmica tipo 1, segundo a direção x , para o deslocamento do nó de controlo de 0,3m.

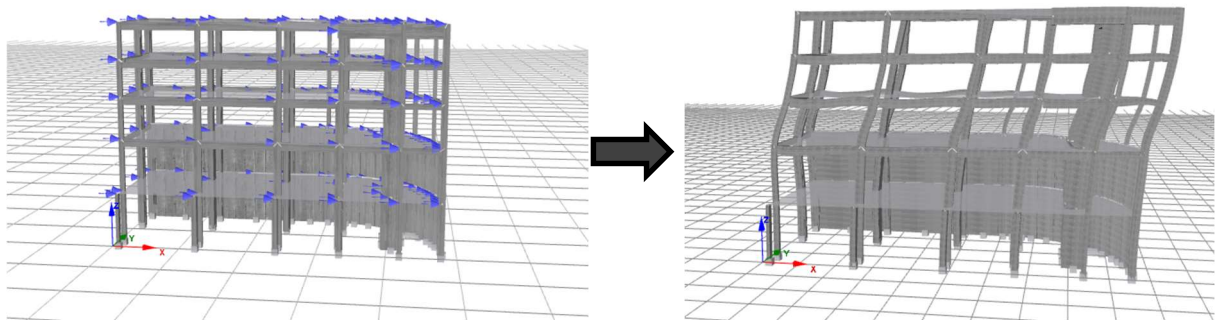


Fig. 27 - Deformada referente à ação sísmica tipo 1, segundo a direção x

A partir do software, com a aplicação dos fatores de carga, associados à carga lateral no edifício e o deslocamento obtido para cada um deles, foi possível, conhecer a curva de capacidade. Uma vez que antes de qualquer cálculo, na análise Pushover, é realizado automaticamente uma análise Eigenvalue, que permite o cálculo das massas modais, bem como, do fator de participação modal, necessário para a obtenção da curva idealizada, Cesar e Barros (2009). Assim, é possível descobrir a força de cedência e o seu respetivo deslocamento associado ao limite de plasticidade, para o sistema SDOF, Computers & Structures INC. (2009). Deste modo, foi possível obter a curva de capacidade e a curva idealizada, que se encontra ilustrada na Fig. 28.

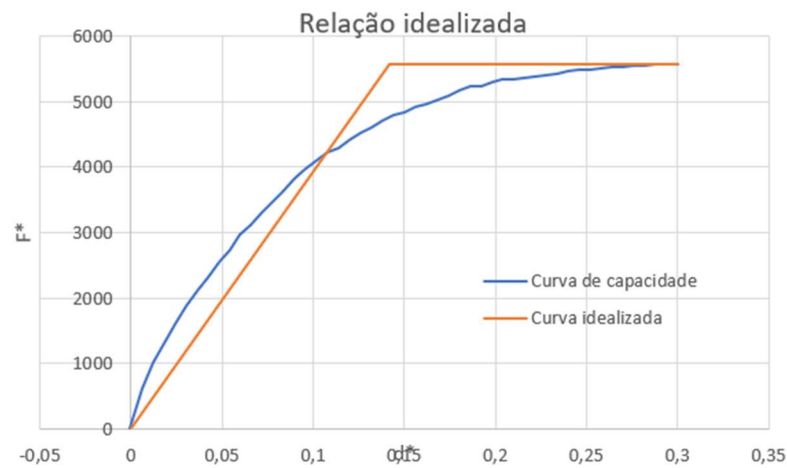


Fig. 28 - Curva de capacidade e a curva idealizada, segundo a direção x

Os valores obtidos para a curva idealizada estão dispostos na seguinte tabela:

Quadro 33 - Valores obtidos para a curva idealizada, segundo a direção x

	F_y^* (KN)	d_y^* (m)
Curva idealizada	5695	0,142

Assim, o valor referente ao deslocamento-alvo obtido para esta análise no sistema SDOF assume o valor de 38,20 mm. No entanto, para avaliar o desempenho estrutural, é necessário a obtenção deste número para n graus de liberdade, Cesar *et al.* (2013-a. 2013-b). Deste modo, foi obtido o fator de participação modal, a partir dos seguintes dados.

Quadro 34 – Fator de participação modal, x

Piso	Massa concentradas existentes no piso (KN)	Deslocamentos normalizado	Fator de participação modal
Cave	44541	0,194	1,287
Piso 1	21727	0,597	
Piso 2	31631	0,758	
Piso 3	26260	0,903	
Piso cobertura	21609	1,000	

Obteve-se um deslocamento-alvo de 49,16 mm, para os n graus de liberdade do edifício. A partir deste valor, consegue-se determinar o desempenho estrutural do edifício, para a ação sísmica tipo 1, medindo para isso, os deslocamentos entre pisos associados a este deslocamento-alvo. Deste modo, será verificado a condição de limitação de danos apresentado no NP EN 1998-1 (2010), que preconiza os deslocamentos entre pisos serem limitados pela condição representada abaixo. Esta expressão é referente a edifícios com elementos não estruturais constituídos por materiais frágeis fixos à estrutura.

$$d_r v \leq 0,005h \quad (46)$$

Em que

d_r – Valor de cálculo do deslocamento entre pisos, obtido pela análise não linear;

v – Coeficiente de redução que tem em conta o mais período baixo da ação sísmica associada ao requisito de limitação de danos;

h – Altura entre pisos.

Nesse sentido, estão apresentados na tabela seguinte os deslocamentos obtidos entre os pisos do edifício, e a verificação da condição de limitação de danos.

Quadro 35 – Verificação da condição de limitação de dano, x

Pisos	d_r	v	$d_r v$	h	$0,005h$	Verificação
Fundação- Cave	0,018	0,5	0,009	5	0,025	O. K
Cave- Piso 1	0,036	0,5	0,018	5	0,025	O. K
Piso 1 Piso 2	0,014	0,5	0,007	4	0,020	O. K
Piso 2- Piso 3	0,011	0,5	0,0055	3,5	0,018	O. K
Piso 3 - Cobertura	0,009	0,5	0,0045	3,5	0,018	O. K

É de referir que o valor de coeficiente de redução adotado foi de 0,5, uma vez que o edifício em estudo pertence à classe de importância II. Através da tabela, é possível concluir que em todos os pisos são verificadas este requisito, segundo a direção x.

Relativamente à direção y, encontra-se ilustrado na Fig. 29 e Fig. 30, a deformada e a curva de capacidade para o mesmo valor de deslocamento do nó de controlo de 0,3 m.

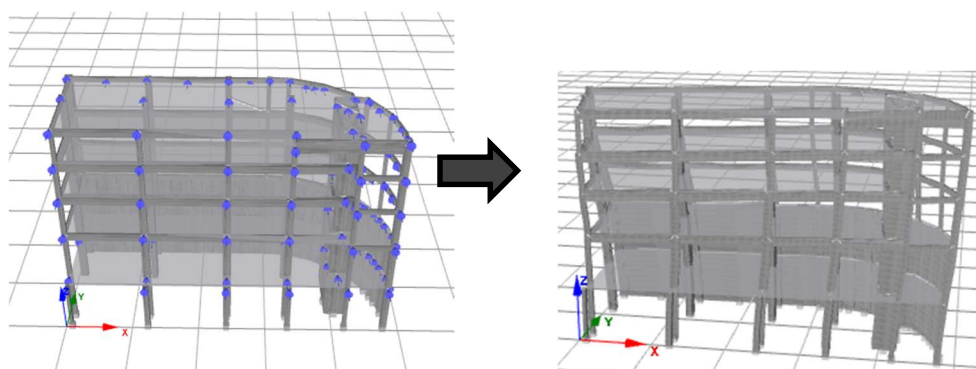


Fig. 29 - Deformada referente à ação sísmica tipo 1, segundo a direção y

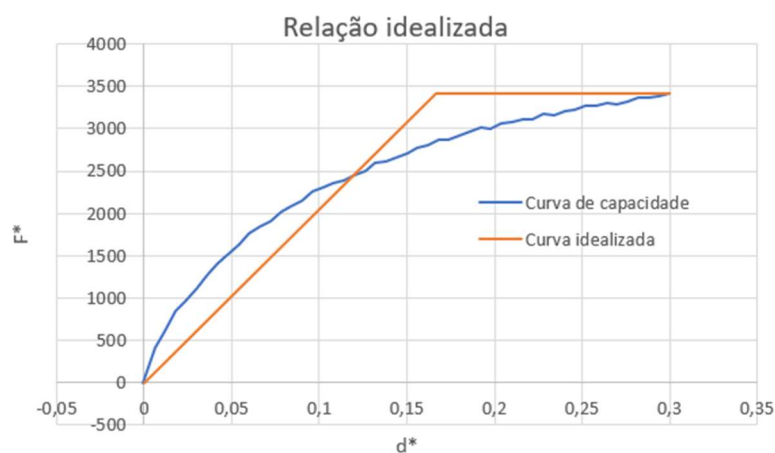


Fig. 30 - Curva de capacidade e a curva idealizada, segundo a direção y

Quadro 36 - Valores obtidos para a curva idealizada, segundo a direção y

	F_y^* (KN)	d_y^* (m)
Curva idealizada	3423	0,167

Sendo que, o deslocamento alvo obtido para esta direção, no sistema SDOF, assume o valor de 76,71 mm.

Assim, obteve-se esse mesmo deslocamento para n grau de liberdade, a partir dos dados demonstrados no seguinte quadro.

Quadro 37 – Fator de participação modal, y

Piso	Massa concentradas existentes no piso (KN)	Deslocamentos normalizado	Fator de participação modal
Cave	44541	0,294	1,510
Piso 1	21727	0,495	
Piso 2	31631	0,179	
Piso 3	26260	0,768	
Cobertura	21609	1,00	

O valor do deslocamento-alvo para n graus de liberdade, toma assim o valor de 116 mm.

É de referir que os deslocamentos entre os pisos obtidos, verificavam a condição referente ao requisito de limitação de danos apresentada na NP EN 1998-1 (2010).

Quadro 38 - Verificação da condição de limitação de dano, y

Pisos	Dr	v	drv	h	0,005h	Verificação
Fundação- Cave	0,011	0,5	0,009	5,0	0,025	O. K
Cave- Piso 1	0,007	0,5	0,0035	5,0	0,025	O. K
Piso 1 Piso 2	0,01	0,5	0,005	4,0	0,020	O. K
Piso 2- Piso 3	0,034	0,5	0,017	3,5	0,018	O. K
Piso 2- Cobertura	0,012	0,5	0,006	3,5	0,018	O. K

A partir da tabela acima, constata-se a verificação dos limites de deformação, pelo que é assegurado no edifício um grau adequado de fiabilidade em relação a danos inaceitáveis, para esta direção.

Após a obtenção dos deslocamentos objetivos para n graus de liberdade, é possível proceder à verificação da capacidade resistente do edifício.

5.3.4 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE

A avaliação da capacidade resistente do edifício, é expressa pela sua capacidade de rotação última e resistência ao corte cíclico. No SeismoStruct (2022), a capacidade de rotação última é obtida para o estado limite de danos severos, ou seja, o valor obtido pelo programa está associado os $\frac{3}{4}$.

Os esforços associados à rotação de corda última e à resistência ao corte cíclico, serão analisadas na base dos elementos estruturais.

Apesar de, na avaliação sísmica ser necessário proceder à verificação da capacidade em todos os elementos estruturais, nesta dissertação, apenas irá ser tida em consideração os efeitos dos elementos verticais, pelas razões anteriormente expostas.

Para a obtenção dos valores referentes à capacidade de rotação última, bem como a resistência ao corte cíclico, de acordo com a NP EN 1998-3 (2017), as expressões cujo programa vai analisar serão a (37) e (40). Para o cálculo da rotação de cedência, necessário para a determinação da resistência ao corte, será adotada a expressão (38) para os pilares e (39) para as paredes.

É de extrema importância referir que o software tem em conta os limites propostos para a capacidade de corte resistente, através das expressões (A.16) e (A.15) da NP EN 1998-3 (2017), para os pilares e paredes, respetivamente.

Relativamente aos esforços obtidos para o deslocamento objetivo de 116 mm, encontram-se representados no anexo D, os esforços de corte e de rotação última para todos os pilares e paredes do edifício. Para a ação sísmica a atuar na direção y, são verificados que em nenhum dos elementos analisados a exigência requerida ultrapassa a sua capacidade, ou seja, o deslocamento a partir do qual os elementos sofrem roturas, assume valores maiores aos do deslocamento-alvo. Assim, assume-se que os pilares e paredes do edifício, possuem a capacidade para acompanhar a deformação imposta pela a ação sísmica regulamentar, pelo que é verificada a segurança para a rotação de corda última.

No que se refere ao comportamento da estrutura ao corte, o desempenho sísmico é o mesmo que o anterior, pois verifica-se que a exigência para a ação sísmica regulamentar não excede a capacidade

resistente, em cada piso. Os rácios entre a exigência e a capacidade que se obteve para os pilares e paredes, tomavam valores inferiores a 1, estes valores encontram-se apresentados no anexo D.

Para a direção x, procedeu-se à mesma metodologia da adotada para a direção y. Para um deslocamento-alvo de 49,16 mm, verificou-se que todos os seus elementos verticais asseguravam uma capacidade adequada ao nível de exigência requerido para este deslocamento. Estes valores obtidos, estão apresentados no anexo D. No entanto, é de referir que para um deslocamento de 60,00 mm, é excedido a capacidade resistente do pilar P 41, onde se forma uma rótula plástica numa das extremidades do pilar, que se encontra representado na imagem seguinte.

Assim, apresenta-se nas imagens seguintes os elementos críticos resultantes da análise Pushover segundo a direção x, sofrendo mecanismos de rotura ao corte.

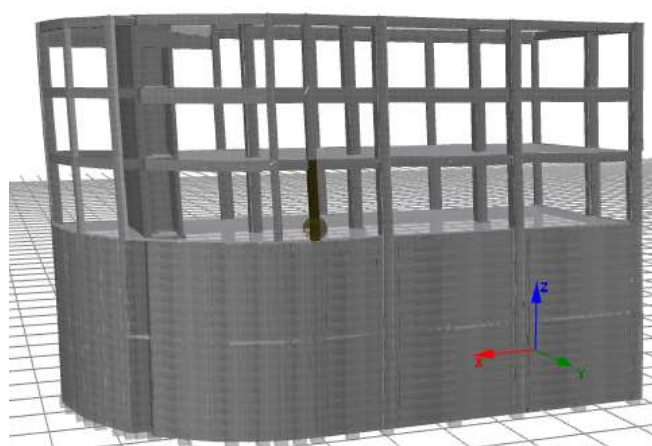


Fig. 31 - Elemento crítico resultantes da análise Pushover para um deslocamento de 60,00mm

No entanto, é só a partir do deslocamento de 78,00 mm que se formam duas rótulas plásticas nas duas extremidades do pilar P41 existente no 2º e 3º piso do edifício e uma rótula plástica nos pilares 40 e 53 existentes no piso 2. É de notar, que os pilares referidos, são pilares existentes antes da remodelação que não foram submetidos ao reforço estrutural.

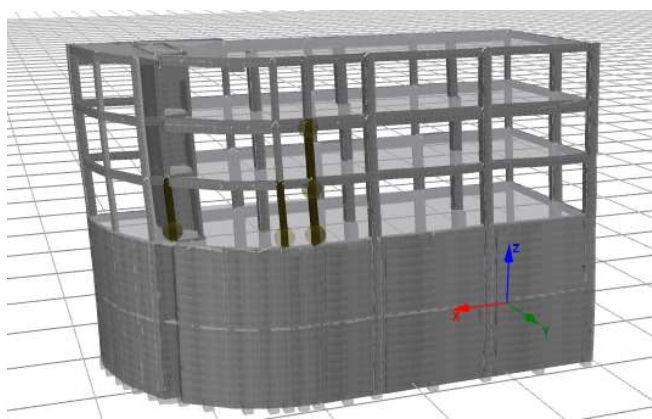


Fig. 32 – Formação de rótulas plásticas na extremidades do pilar 41, P 40 e P 53.

Deste modo, do exposto, num total de 118 elementos estruturais verticais sujeitas a esta análise, nenhum deles apresentou qualquer tipo de mecanismo ao corte ou à rotação da corda última, na direção x e y, para o estado limite de danos severos, quando é atingido o deslocamento-alvo. Assim, é possível concluir que o edifício assumindo a altura fictícia aos seus elementos verticais, não apresenta vulnerabilidade sísmica, pelo que não é necessário a elaboração do projeto de reforço referido na portaria 302/2019, para este caso.

5.3.5 ANÁLISE ESTÁTICA PUSHOVER CONSIDERANDO PÉS DIREITOS REAIS

Esta análise foi adotada considerando a altura real dos elementos verticais do edifício. Assim, o cálculo do deslocamento-alvo, seguirá a mesma metodologia da adotada em 5.3.3, onde se irá determinar o respetivo deslocamento da análise estática adaptativa Pushover para a direção x e y.

Deste modo, obteve-se o respetivo deslocamento-alvo para a direção x com o valor de 18,67mm, para o sistema SDOF, enquanto que na direção y obteve-se 32,7 mm. Seguidamente, determinou-se o fator de participação modal, para cada uma destas direções, a partir dos seguintes dados apresentados na tabela seguinte.

Quadro 39 . Fator de participação modal

Piso	Massa concentradas existentes no piso (KN)	Deslocamentos normalizado, x	Deslocamentos normalizado, y	Fator de participação modal, x	Fator de participação modal, y
Cave	51799	0,303	0,283	1,315	1,248
Piso 1	16273	0,606	0,533		
Piso 2	26889	0,727	0,733		
Piso 3	56838	0,848	0,933		
Cobertura	21123	1	1		

Logo, o valor do deslocamento obtido para n graus de liberdade foi de 24,55 mm e 42,42 mm, para a direção x e y, respetivamente.

5.3.6 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE

Na avaliação da capacidade resistente, foi verificado que o edifício possuía uma boa capacidade de rotação, ou seja, uma adequada resistência aos mecanismos dúcteis, não verificando em nenhum dos pisos a excedência dessa resistência.

Relativamente à capacidade de resistência ao corte cíclico, verificou-se que nas direções x e y, para o deslocamento-objetivo não se formou nenhum mecanismo. No entanto, observou-se a formação da primeira rotura na direção x, para o deslocamento de 30,70 mm, onde ocorreu a formação de uma rótula plástica na extremidade inferior do pilar 41 e duas rótulas plásticas nas extremidades do pilar PB'8, que se encontram apresentadas na imagem seguinte.

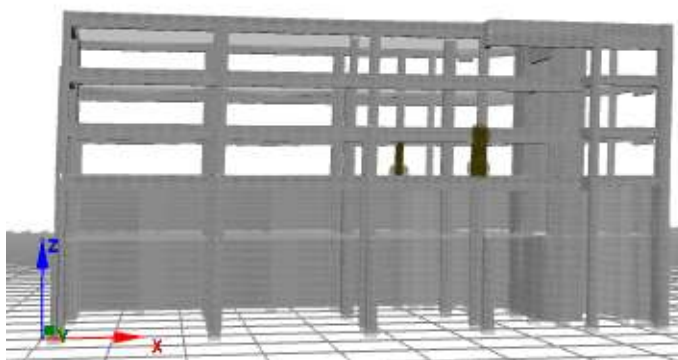


Fig. 33 – Formação de mecanismos para o pilar PB'8 e P41

Após observação da imagem, é possível constatar quais os elementos que ficaram sujeitos a um mecanismo local. Deste modo, apresentam-se os valores obtidos para a resistência, exigência da solicitação e rácio determinados para o deslocamento de 30,70 mm.

Quadro 40 - Verificação da capacidade dos Pilares PB'8 e P41

Piso	Pilar	Secção transversal	Rótula plástica	Exigência - E (KN)	Capacidade - C (KN)	D=E/C	Verificação
2	PB'8	0,75x0,25	Extremidade superior	282,50	247,44	1,14	K. O
			Extremidade inferior		250,26	1,13	K. O
	P41	0,4x0,4	Extremidade inferior	80,43	80,039	1,005	K. O

De acordo com o exposto, verifica-se que não é excedida a capacidade resistente nos elementos verticais para deslocamento-objetivo. Desta forma, seguindo o pressuposto da portaria 302/2019, não é necessário a elaboração do projeto de reforço, para este caso.

No entanto, é interessante referir que quando o edifício em análise, para esta direção, atinge um deslocamento de 78,00 mm, são excedidas a capacidade de vários pilares, representados na imagem seguinte. Nesse sentido, as respetivas capacidades e exigências estão apresentadas no Quadro 40.

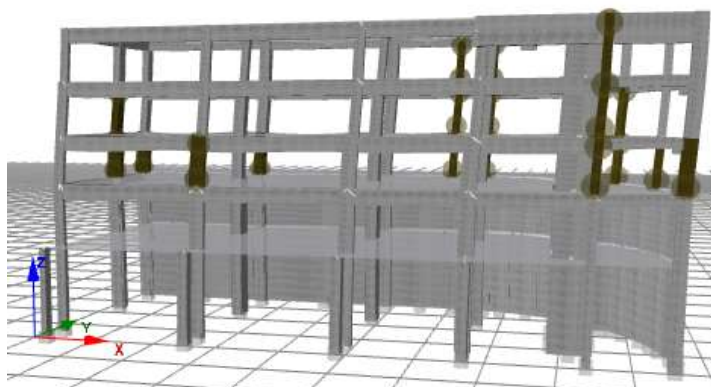


Fig. 34 – Mecanismos locais para o deslocamento 78,00 mm

Quadro 41 - Verificação da capacidade dos mecanismos locais para o deslocamento de 78,00 mm

Piso	Pilar	Secção transversal	Rótula plástica	Exigência - E (KN)	Capacidade - C (KN)	D=E/C	Verificação
2	P 38	0,4x0,4	Extremidade superior	63,757	51,893	1,229	K. O
			Extremidade inferior		49,913	1,277	K. O
3	P 38	0,4 x 0,4	Extremidade superior	112,2658	66,743	1,682	K. O
			Extremidade inferior		65,748	1,707	K. O
2	P 29	0,4x0,3	Extremidade superior	607,721	595,882	1,020	K.O
			Extremidade inferior		494,413	1,229	K. O
2	P53	0,4x0,3	Extremidade superior	133,248	100,287	1,329	K. O
			Extremidade inferior		88,226	1,170	K. O
3	P53	0,4 x0,3	Extremidade superior	102,507	78,540	1,305	K. O
			Extremidade inferior		87,587	1,170	K. O
cob	P53	0,4 x0,3	Extremidade superior	62,457	61,607	1,014	K. O
			Extremidade inferior		62,225	1,004	K. O
2	P41	0,4x0,4	Extremidade superior	142,581	93,402	1,527	K. O
			Extremidade inferior		86,318	1,652	K. O
3	P41	0,4x0,4	Extremidade superior	140,310	81,691	1,718	K. O
			Extremidade inferior		87,108	1,610	K. O
cob	P 41	0,4x0,4	Extremidade superior	102,267	84,330	1,212	K. O
			Extremidade inferior		84,789	1,206	K. O
2	PB'6	0,75x0,25	Extremidade superior	428,571	296,404	1,450	K. O
			Extremidade inferior		294,869	1,453	K. O
2	P 40	0,4x0,4	Extremidade superior	157,866	126,084	1,252	K. O
			Extremidade inferior		106,909	1,477	K. O

Como seria de esperar, verifica-se que o edifício com elementos verticais em que o rácio entre a altura livre do elemento e a maior largura da sua secção transversal apresentar valores inferiores a 2,5, apresentam menor capacidade de deformação do que os analisados em 5.3.4.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Com a realização do relatório da avaliação da vulnerabilidade sísmica do edifício em análise, aplicando as metodologias I e II, pode-se afirmar que o edifício verifica a segurança sísmica, não sendo por isso, necessário a realização de um projeto de reforço sísmico.

Na aplicação dos métodos referidos, considerado a aplicação de 100% da ação sísmica, constatou-se que no método I, o edifício não verificava a segurança sísmica apenas para o piso 2. No entanto, após se considerar 90 % da combinação sísmica de ações, foi observado que esse piso já verificava a segurança, apresentando uma área de pilares maior do que a exigida.

Deste modo, importa realçar que a não verificação para os 100%, se deve ao facto de o método I ser mais conservativo do que o método II e III. Segundo o LNEC (2019), cerca de 42 % dos edifícios com 4 pisos analisados para esta metodologia (I), não verificaram os mínimos exigidos de segurança. Por sua vez, no método II, essa percentagem toma o valor de 26 % e para o método de referência, o valor de 25%. Portanto, é possível concluir que existe uma boa aproximação relativamente aos métodos II e III, no que toca à verificação de segurança sísmica.

Nesse sentido, os resultados obtidos pela análise Pushover no estudo do edifício com as alturas fictícias, admitiu a mesma conclusão da metodologia I, pois verificou-se que para o deslocamento-objetivo, tanto os deslocamentos entre pisos, como as capacidades dos elementos frágeis e dúcteis verificavam os mínimos exigidos para a atuação de 100 % da ação sísmica.

No entanto, verificou-se, na análise não linear, que as capacidades associadas ao corte dos elementos foram atingidas primeiro do que a rotação da corda última. Apesar de que no método expedito II, observou-se que a resistência à flexão possuía menor capacidade que a obtida no corte, o que se concluiu que os elementos verticais apresentavam uma boa capacidade de deformação à flexão, beneficiando-se da ductilidade.

No que diz respeito à capacidade de corte cíclico nos elementos verticais, conclui-se que existe uma adequada adoção da armadura transversal, uma vez que apenas ocorreu a formação da primeira rótula na estrutura, após se atingir o deslocamento-alvo. Por isso, o edifício possui um bom desempenho à ação sísmica.

Relativamente à análise Pushover que se realizou, tendo em conta as alturas reais do edifício em estudo, verificou-se que nas direções x e y todos os pilares e paredes satisfaziam a respetiva exigência mínima para 100 % da ação sísmica. No entanto, foi verificado na direção x, a primeira ocorrência de roturas por corte, em dois pilares, PB' e P41, após ultrapassado o deslocamento-objetivo. Deste modo, e uma vez que a portaria 302/2019 apenas pressupõe a elaboração do projeto de reforço, se o relatório de

vulnerabilidade sísmica admitir que o edifício é vulnerável para 90 % da ação sísmica descrita na NP EN 1998-3 (2017), conclui-se que para nenhum dos casos estudados é necessário a elaboração do projeto de reforço.

No entanto, não é de estranhar os valores obtidos para os deslocamentos-alvo nos dois casos do edifício em estudo, uma vez que em edifícios constituídos por pilares curtos, a ação sísmica tem maior impacto nestes pilares.

É de notar que os pilares que não sofreram reforço ou aumento da secção foram os que verificaram maior número de colapsos por corte, depois de se atingir o deslocamento-objetivo.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

De modo a dar continuidade ao trabalho realizado, são sugeridos os desenvolvimentos futuros seguintes.

- Realização de um espectro de resposta, resultado de um conjunto de registos de movimentos de solo reais do local de implantação, através de por exemplo, SeismoSpect e SeismoSignal.
- Comparação dos resultados obtidos pela análise definida anteriormente, com os obtidos pelos métodos expeditos e análise Pushover, onde se submeteu o espectro de resposta preconizado pela NP EN 1998-1 (2010).
- Suposição de outras soluções de reforço estrutural para o mesmo edifício, e comparação do desempenho sísmico atendendo à análise em tempo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antoniou, A. Rovithakis, R. Pinho. *Development And Verification Of A Fully Adaptive Pushover Procedure*. 12th European Conference on Earthquake Engineering (Elsevier, ed).
- Augusto Gomes, Júlio Appleton. *Reforço de Estruturas de Betão Armado por Encamisamento das Secções*. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, n. °42.
- Barros e Almeida. *Pushover Analysis of Asymmetric Three-Dimensional Building Frames*. Journal of Civil Engineering and Management, Vol. XI, N.º 1, pp. 3-12, Vilnius, Lithuania, 2005.
Disponível on-line no endereço:
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13923730.2005.9636327>
http://www.vgtu.lt/leidiniai/index_.php?page=1&journal=11&nr=411&lang=en
- Barros e Cesar (2010). *Performance Based Design of Building Structural Frames Using Static Non-Linear Analysis*. Publicado como capítulo 11 do livro *Developments and Applications in Computational Structures Technology* (Edited by: B. Topping, J. Adam, F. Pallares, R. Bru and M. Romero, Saxe-Coburg Publications, ISBN 978-1-874672-47-0, pp. 269-308, Scotland, 2010).
- Barros, Cesar et al (2013-a). *Comparative Review of the Performance Based Design of Building Structures Using Static Non-Linear Analysis*. Part A: Steel Braced Frames, Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, (<http://civiljournal.semnan.ac.ir/>), 17 pag., 2013.
- Barros, Cesar et al (2013-b). *Comparative Review of the Performance Based Design of Building Structures Using Static Non-Linear Analysis - Part B: R/C Frames*, Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, (<http://civiljournal.semnan.ac.ir/>), 24 pag., 2013.
- Braz César M.T., Carneiro Barros R.M.M.. *Estudo preliminar sobre o desempenho sísmico de pórticos metálicos contraventados a partir de análises estáticas não-lineares (pushover)*. CMNE/CILAMCE 2007, 13 a 15 de junho, 2007, Porto.
- Cesar e Barros. *Seismic Performance of Metallic Braced Frames by Pushover Analyses*. ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, COMPDYN 2009. Rhodes, Greece, 22–24 June 2009. Publicado no livro *Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, ISBN: 978-960-254-682-6; M. Papadrakakis, N.D. Lagaros, M. Fragiadakis (eds.), p. 264, CD 573, Institute of Structural Analysis & Seismic Research, NTUA, Athens, Greece, 2009.
- Computers & Structures INC. (2009). *User's Manual Includes: Getting Started, Basic Analysis Reference, Introductory Tutorial*. Computers & Structures INC. Califórnia.
- Decreto-Lei n.º 95/2019, de 18 de julho. *Diário da República n.º 136/2019, Série I*. Infraestruturas e Habitação, Lisboa.
- Eurocódigo – Bases para projeto de estruturas*, CEN (Comité Europeu de Normalização). NP EN 1990:2009 -. CEN, Bruxelas, 2009.
- Eurocódigo 1 – Ações em estruturas - Parte 1-1*, CEN (Comité Europeu de Normalização). NP EN 1991-1-1:2009 -: *Ações Gerais. Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios*. CEN, Bruxelas, 2009.
- Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão – Parte 1-1*, CEN (Comité Europeu de Normalização). NP EN 1992-1-1 (2010):2010 –: *Regras gerais e regras para edifícios*. CEN, Bruxelas, 2009.

- Eurocódigo 8 - Projecto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 1*, CEN (Comité Européen de Normalização). NP EN 1998-1:2010 - Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios. CEN, Bruxelas, 2010.
- Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 3 (2017)*, CEN (Comité Européen de Normalização). NP EN 1998-3:2017 - Avaliação e reabilitação de edifícios. CEN, Bruxelas, 2017.
- Eurocódigo 8 - Projecto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 5*, CEN (Comité Européen de Normalização). NP EN 1998-5:2010 -: Fundações, estruturas de suporte e aspectos geotécnicos. CEN, Bruxelas, 2010.
- Gonçalo Carvalho. *Seismic Analysis of Reinforced Concrete Buildings*. Study of alternatives for nonlinear modeling and analysis, Department of Civil Engineering, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Portugal.
- Helena Meireles, Rui Pinho, Rita Bento, and Stelios Antoniou. *Verification of an adaptive pushover technique for the 3d case*. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 3-8 September 2006, Geneva.
- LNEC (2019) – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. *Metodologia para a avaliação da segurança sísmica de edifícios existentes baseada em análises de fiabilidade estrutural - Edifícios de betão armado*. Relatório 81/2019 - DE/NESDE, Versão revista, outubro 2019.
- M. Marangon. Unidade 03 Investigação Geotécnica e Parâmetros para Fundações. <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2017/07/GEF03-Investiga%3%a7%3%a3o-Geot%3%a9cnica-e-Par%3%a2metros-para-Funda%3%a7%3%b5es-2018.pdf>, 20 – 05 - 2022.
- Pereira, Barros et al. (2009). *A Parametric Study of a R/C Frame based on “Pushover” Analysis*. 3rd International Conference on Integrity, Reliability & Failure (IRF 2009). Porto - Portugal; 20-24 July 2009. Publicado no livro Integrity Reliability and Failure (Challenges and Opportunities), Editors: JF Silva Gomes and SA Meguid, INEGI editions, ISBN: 978-972-8826-22-2, Symposium on Dynamics and Stability coordinated by Rui C Barros and M. Braz Cesar, Chapter 23, pp. 657-670, ref: S2604_A0581 (30 pág.), Porto, Portugal, 2009.
- Portaria nº 302/2019, de 12 de setembro. *Diário da República n.º 175/2019*, Série I. de 2019. Infraestruturas e Habitação, Lisboa.
- SeismoStruct (2018). *Technical Information Sheet - Nonlinear analysis and assessment of structures*.
- Valdir Filipe Gomes Pereira (2009). *Estudo Paramétrico Sobre o Desempenho de Pórticos de Betão Armado com Base em Sucessivas análises “Pushover”*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.

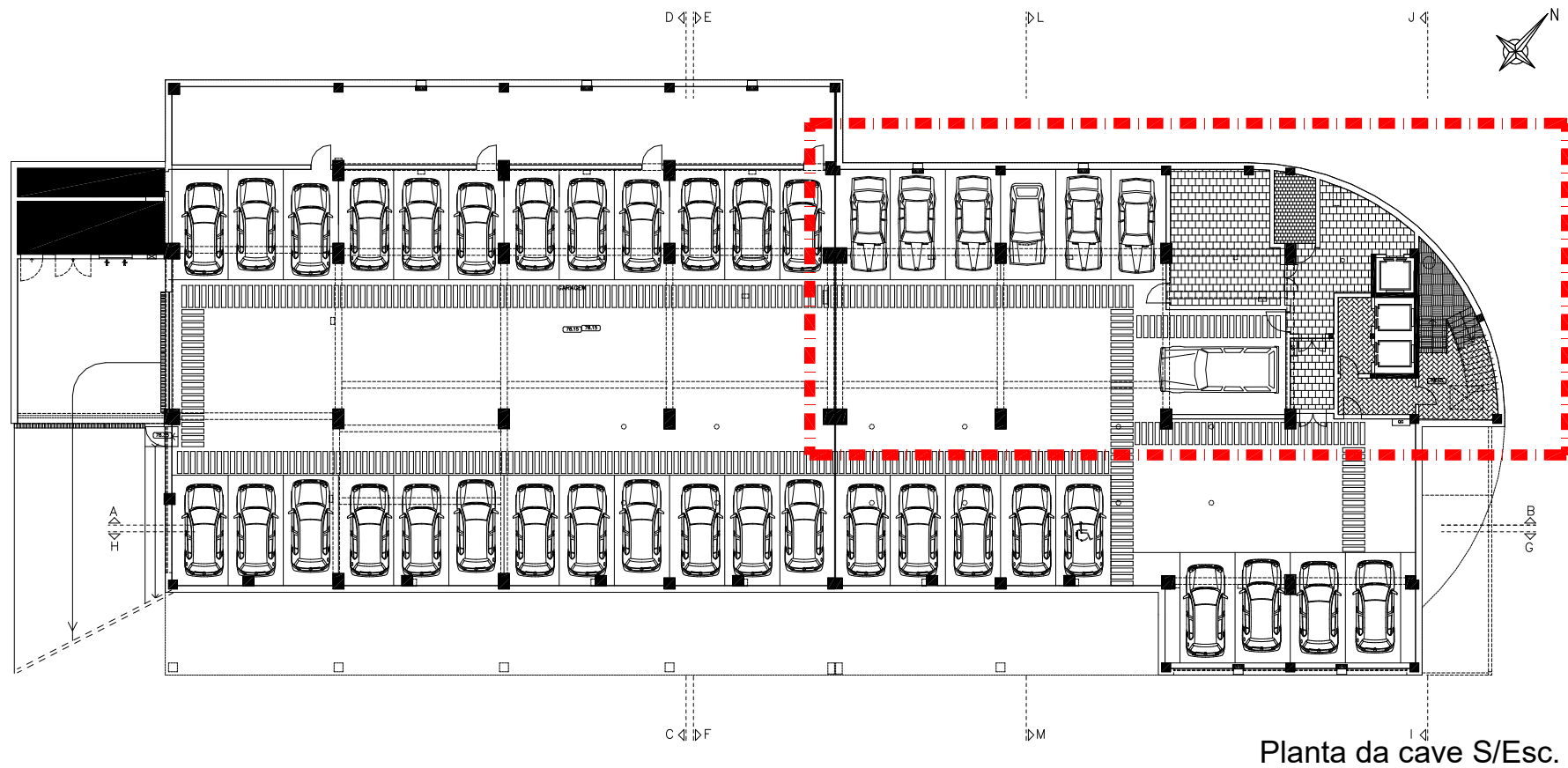
BIBLIOGRAFIA ADICIONAL UTILIZADA

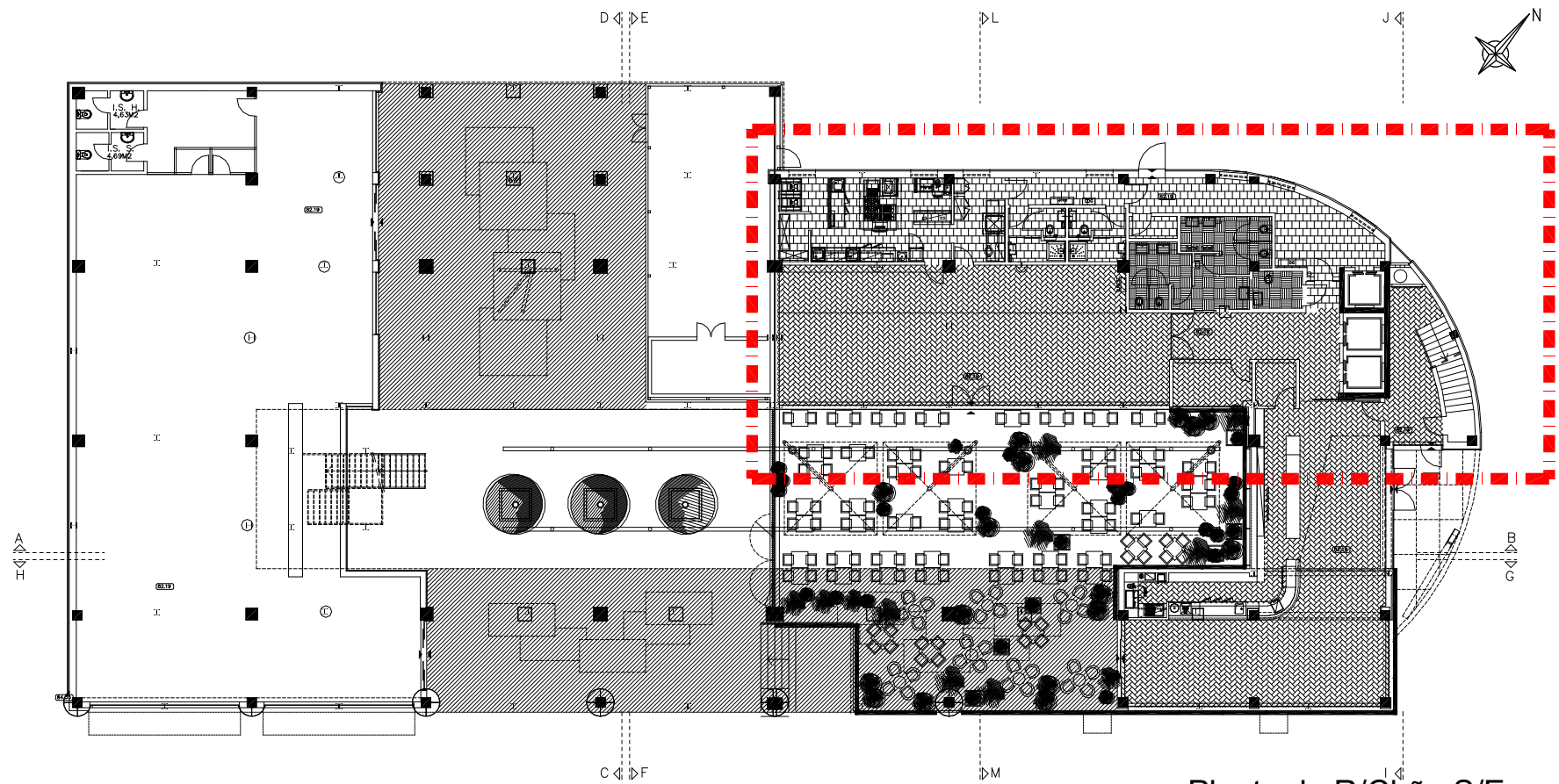
- Burak Yön, Yusuf Calayır. *Pushover Analysis of a Reinforced Concrete Building According to Various Codes* 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, 23-25 May 2013, Albania
- Riza Ainul Hakim, Mohammed Sohaib Alama, Samir A. Ashour. *Application of Pushover Analysis for Evaluating Seismic Performance of RC Building*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Issue, 1- january-2014.
- Rui Ribeiro, Ricardo Monteiro, Raimundo Delgado. *Comparação de Modelos com Não Linearidade Concentrada ou Distribuída na Análise “Pushover” de Pontes em Betão Armado*. BE2008 – Encontro Nacional Betão Estrutural 2008, 5 a 7 de novembro de 2008, Guimarães.
- Shehata E. Abdel Raheem, Mohamed M. Ahmed, Tarek M.A. Alazrak. *Soil-structure Interaction Effects on Seismic Response of Multi-story Buildings on Raft Foundation*. Journal of Engineering Sciences - Assiut University - Faculty of Engineering - Vol. 42 - No. 4, julho de 2014, pag. 905 a 930.
- Sílvia Amorim Couto (2013) *Avaliação da Segurança Sísmica do Edifício da Biblioteca da FEUP Segundo o Eurocódigo 8*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- Szabolcs Varga, Cosmin G. Chioreana. *Seismic Assessment of Reinforced Concrete Frameworks Through Advanced Pushover Analysis and Nonlinear Response of A SDOF Oscillator*. World Multidisciplinary Civil Engineering – Architecture-Urban Planning Symposium 2016, Elsevier, Roménia, 2016.

ANEXOS

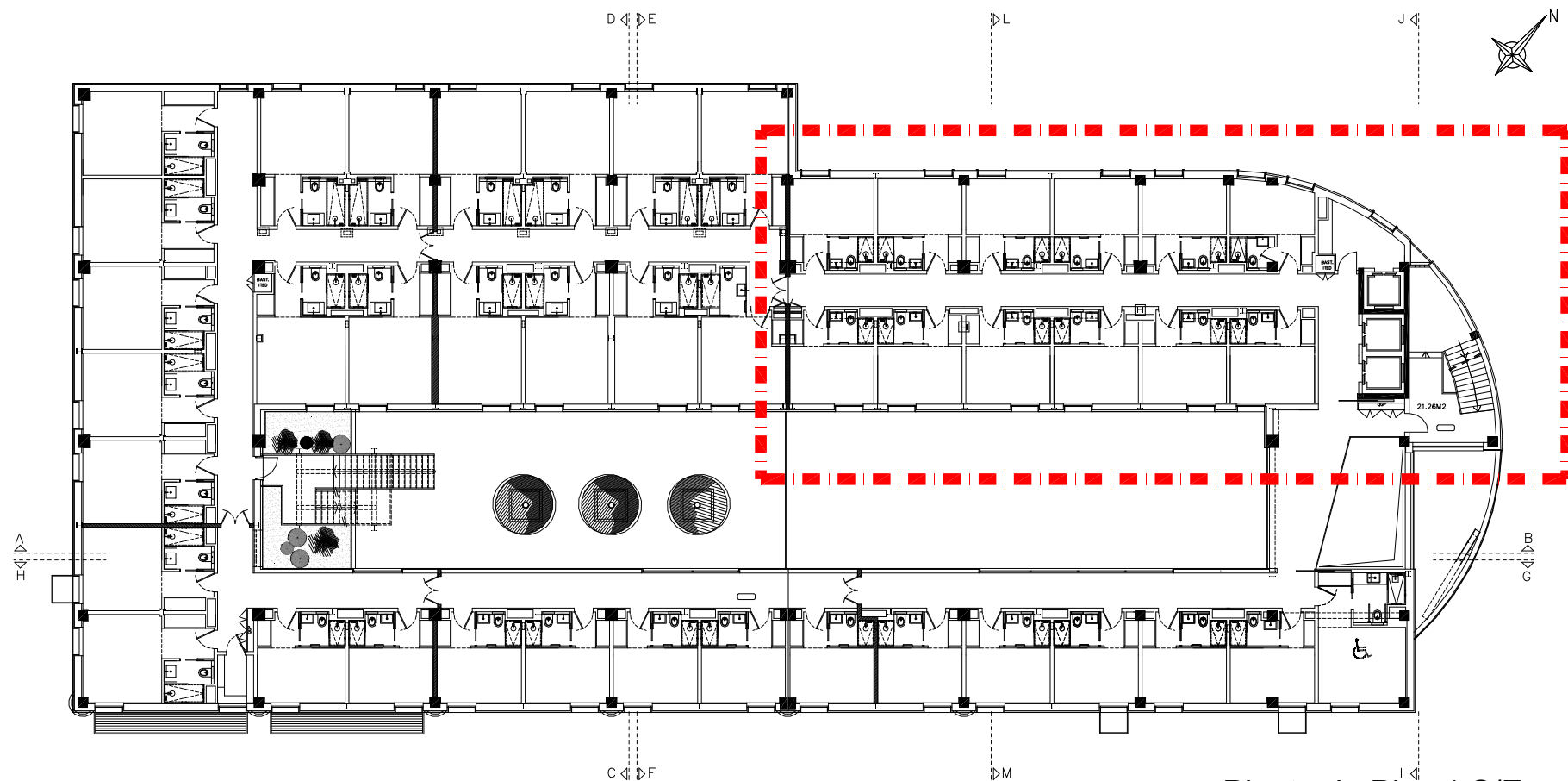
ANEXO A. - PEÇAS DESENHADAS- ARQUITETURA

A.1 - PLANTAS

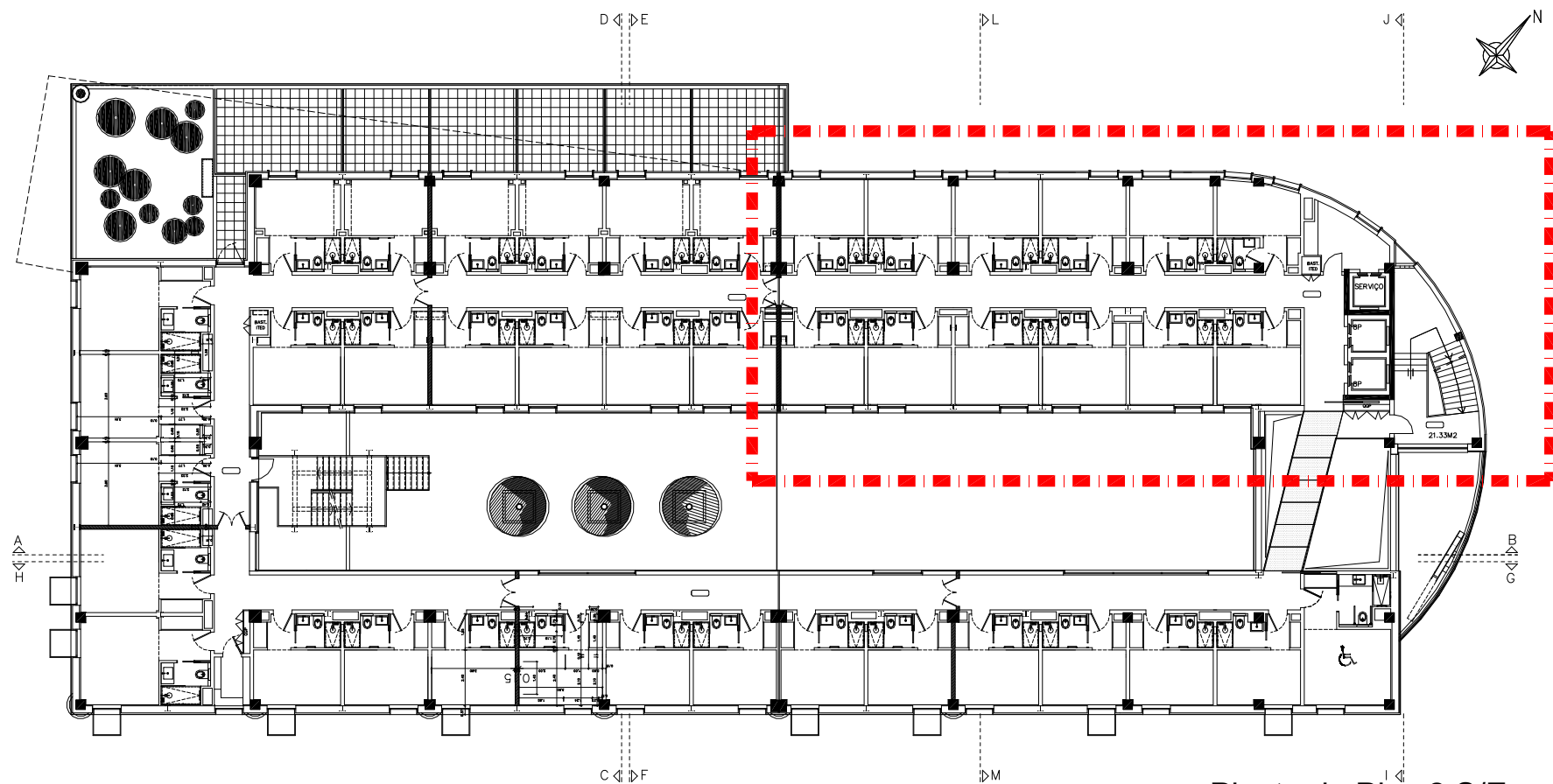




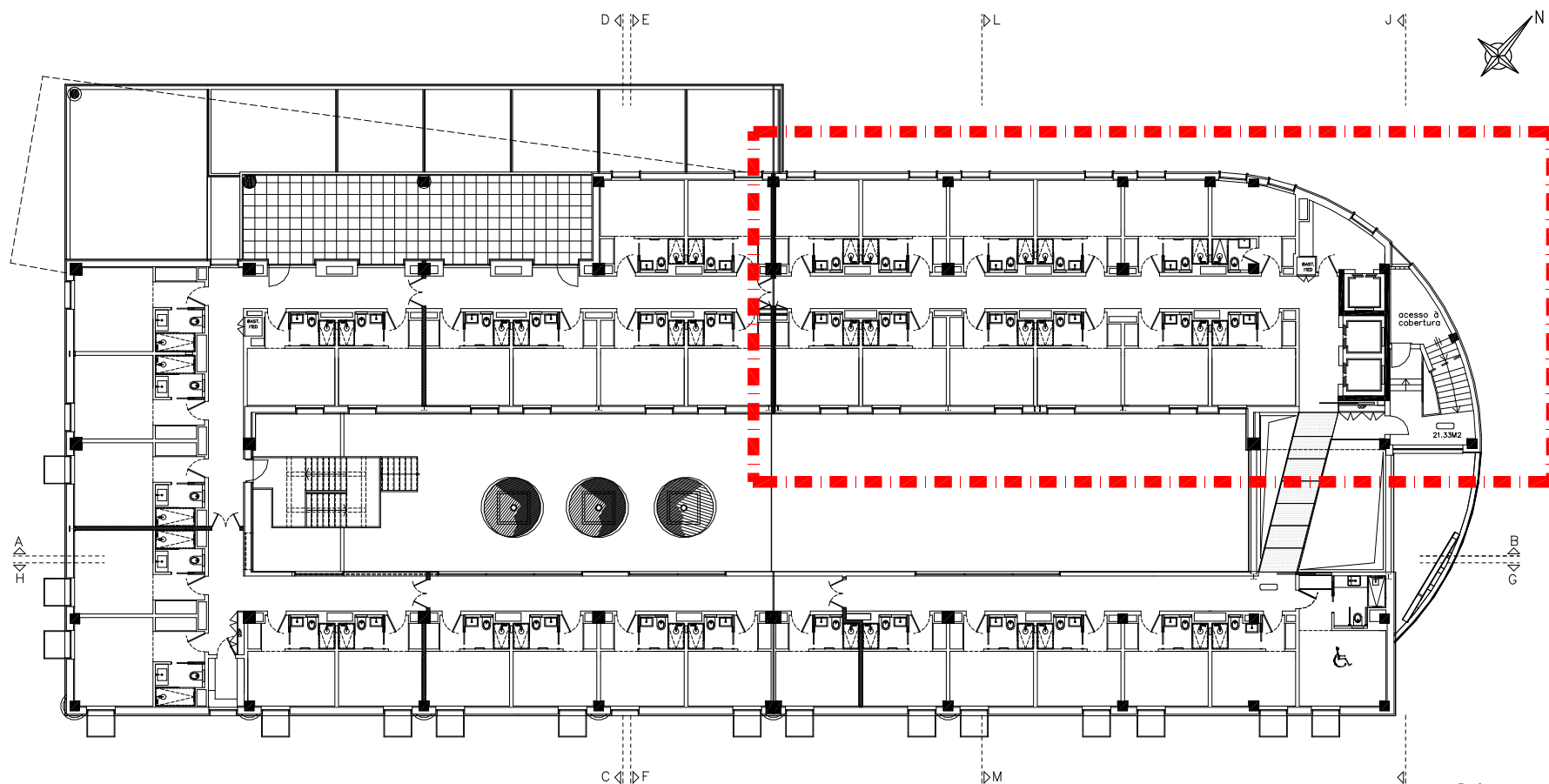
Planta do R/Chão S/Esc.



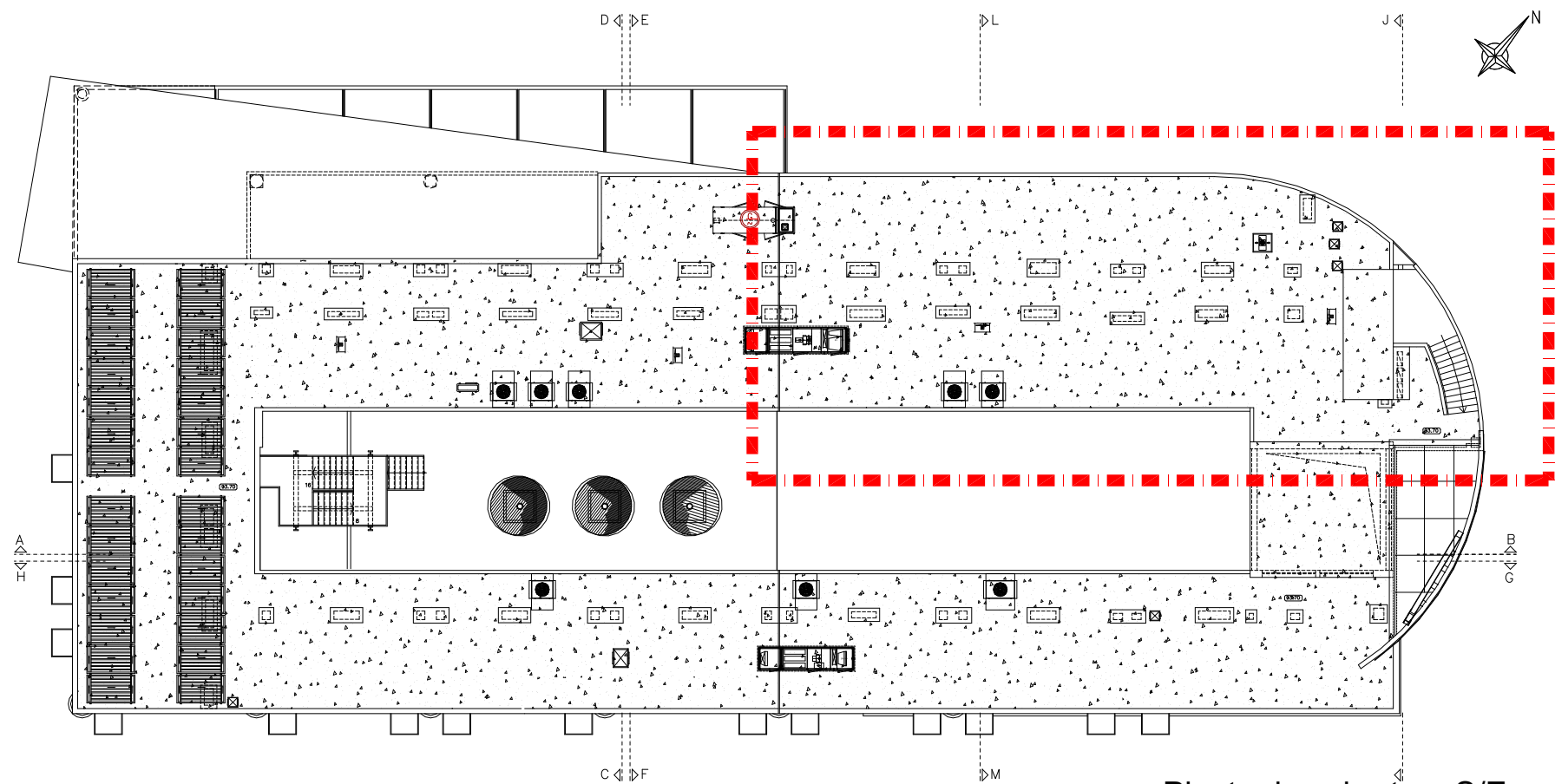
Planta do Piso 1 S/Esc.



Planta do Piso 2 S/Esc.

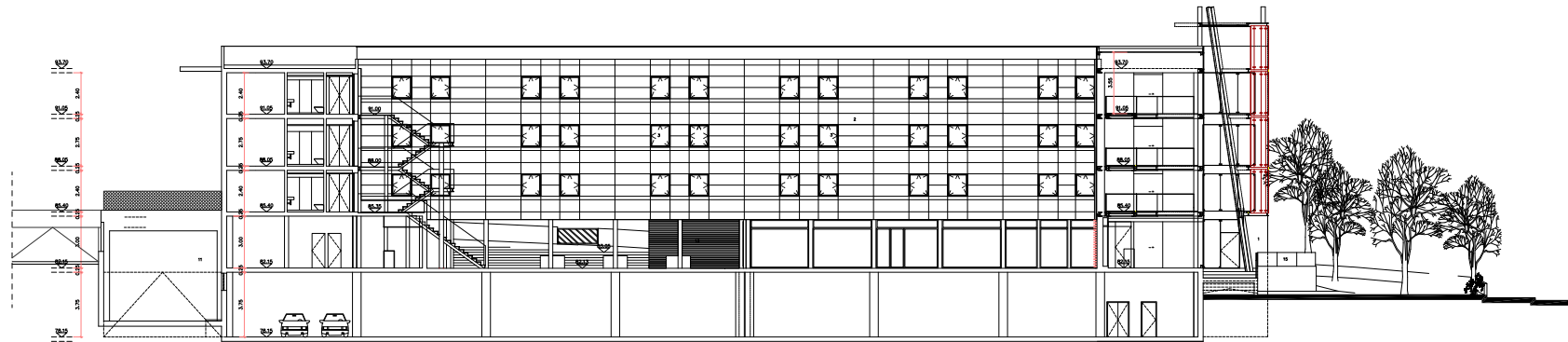


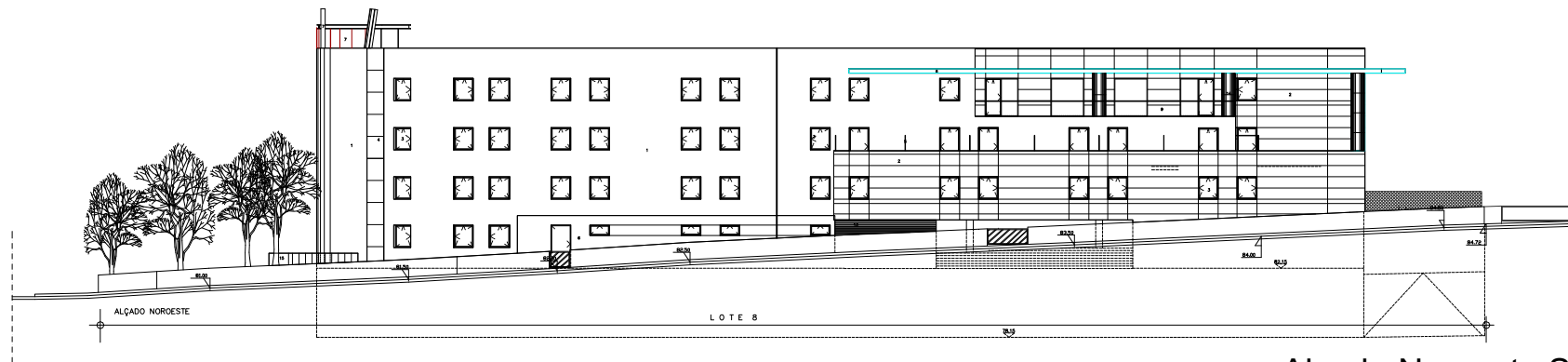
Planta do Piso 3 S/Esc.



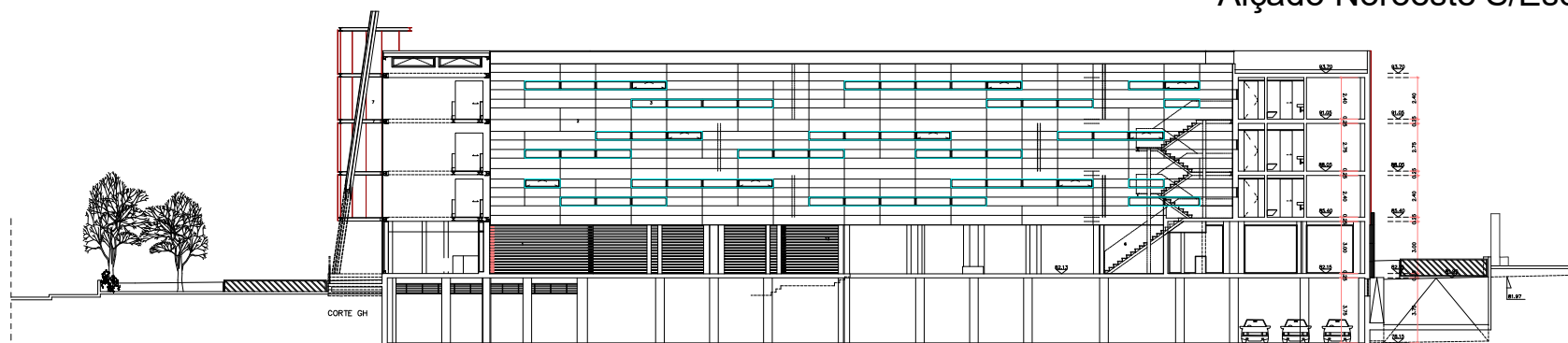
Planta da cobertura S/Esc.

A.2 – ALÇADOS E CORTES

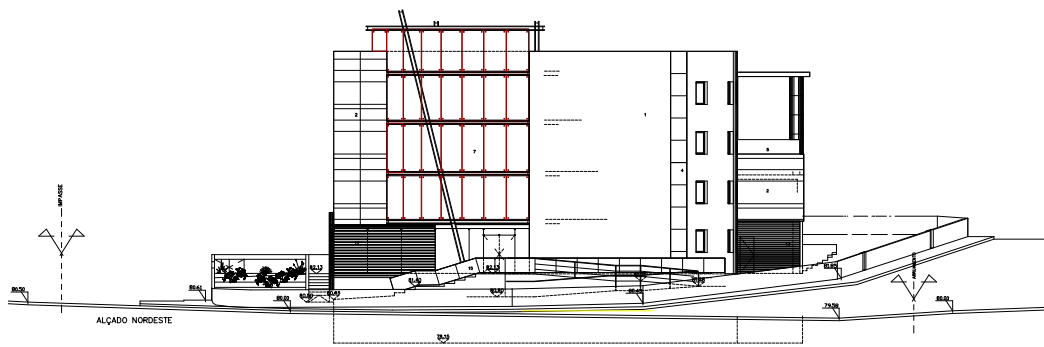




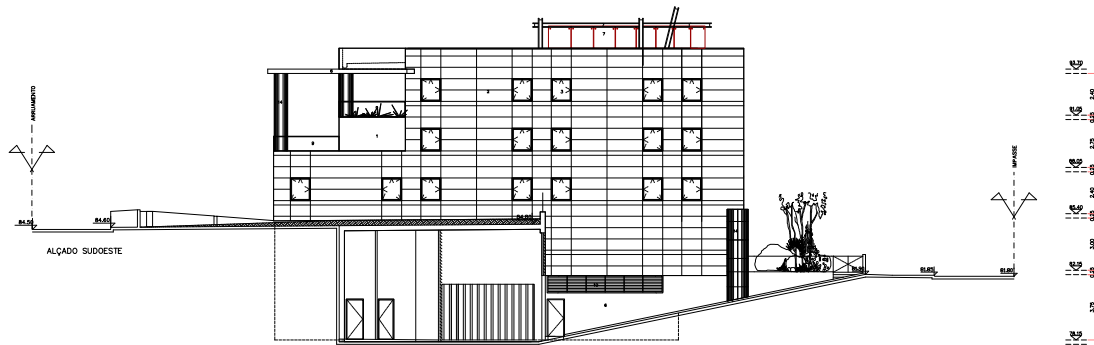
Alçado Noroeste S/Esc.



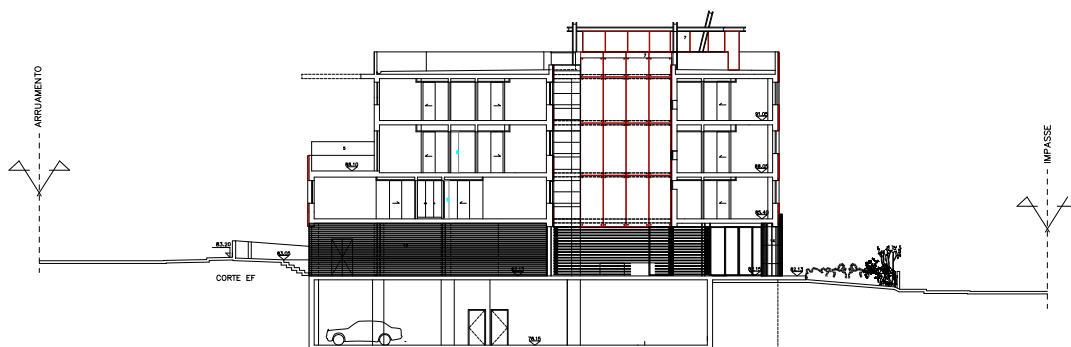
Corte GH S/Esc.



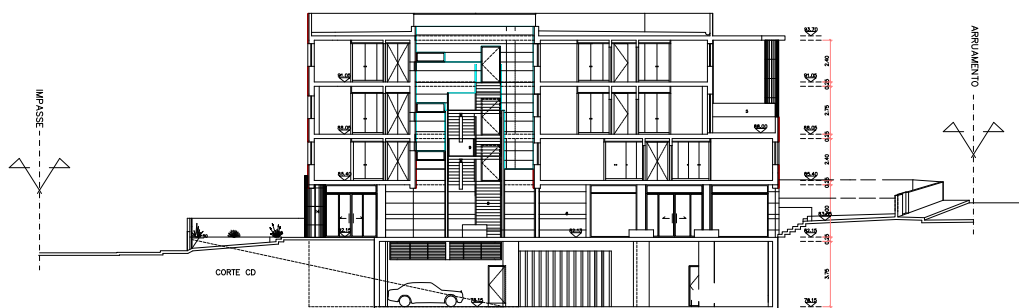
Alçado Nordeste S/Esc.



Alçado Sudoeste S/Esc.



Corte EF S/Esc.

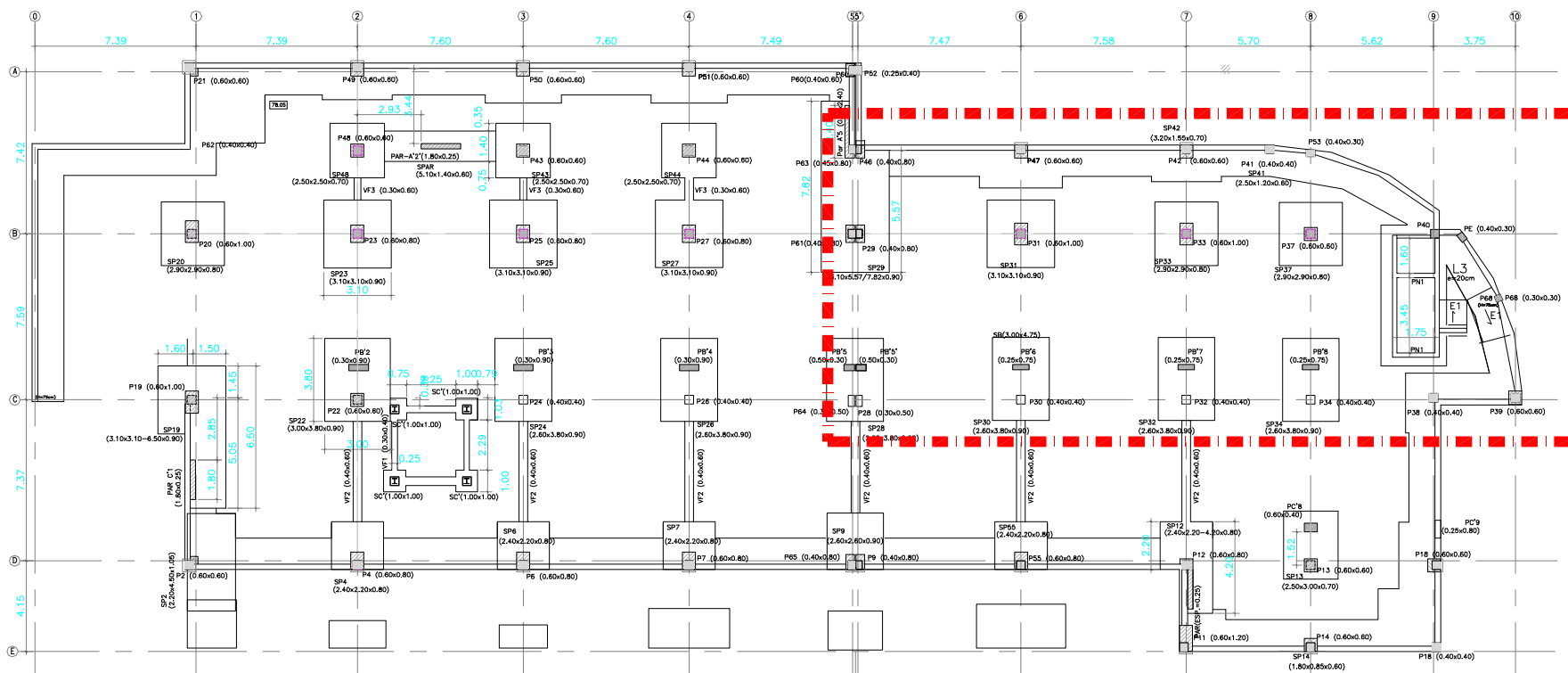


Corte CD S/Esc.

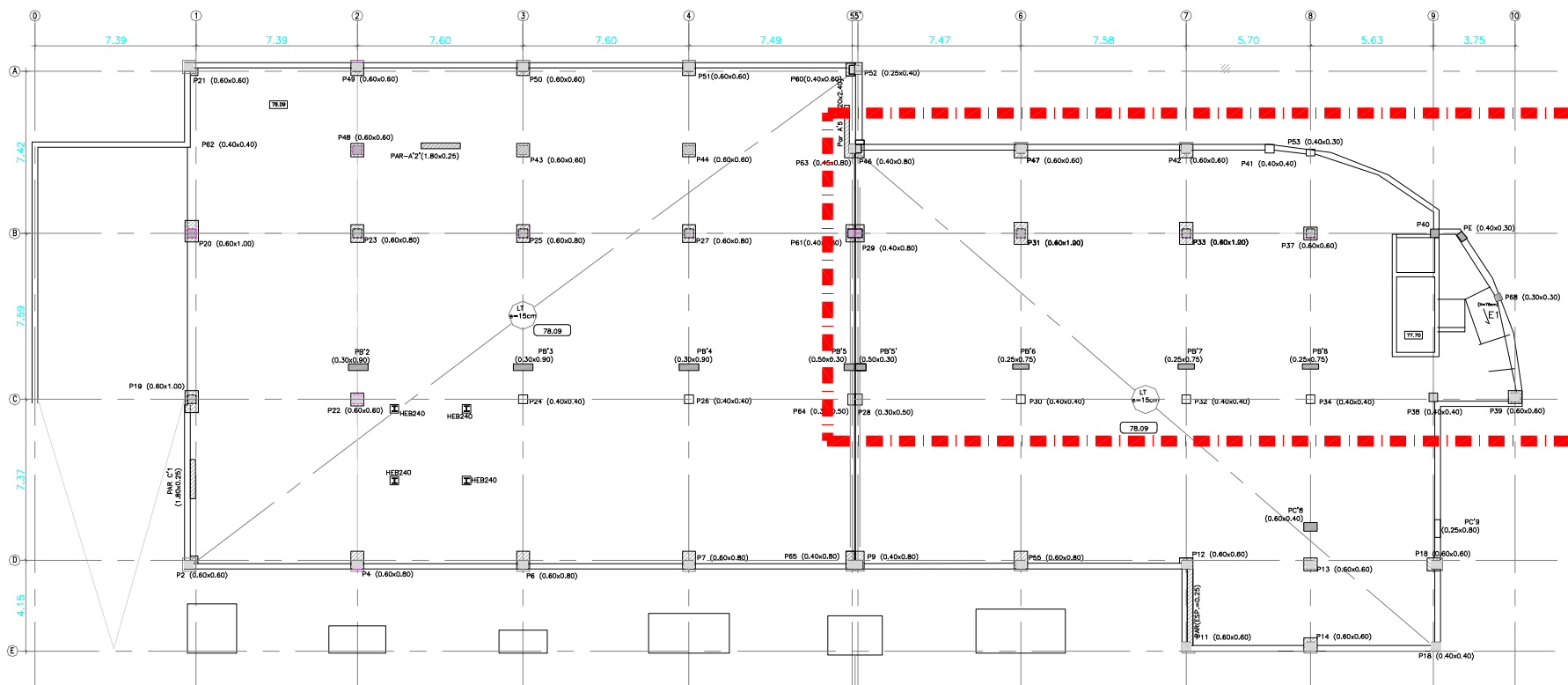
ANEXO B. - PEÇAS DESENHADAS - ESTRUTURAS

B.1 – PLANTAS ESTRUTURAIS

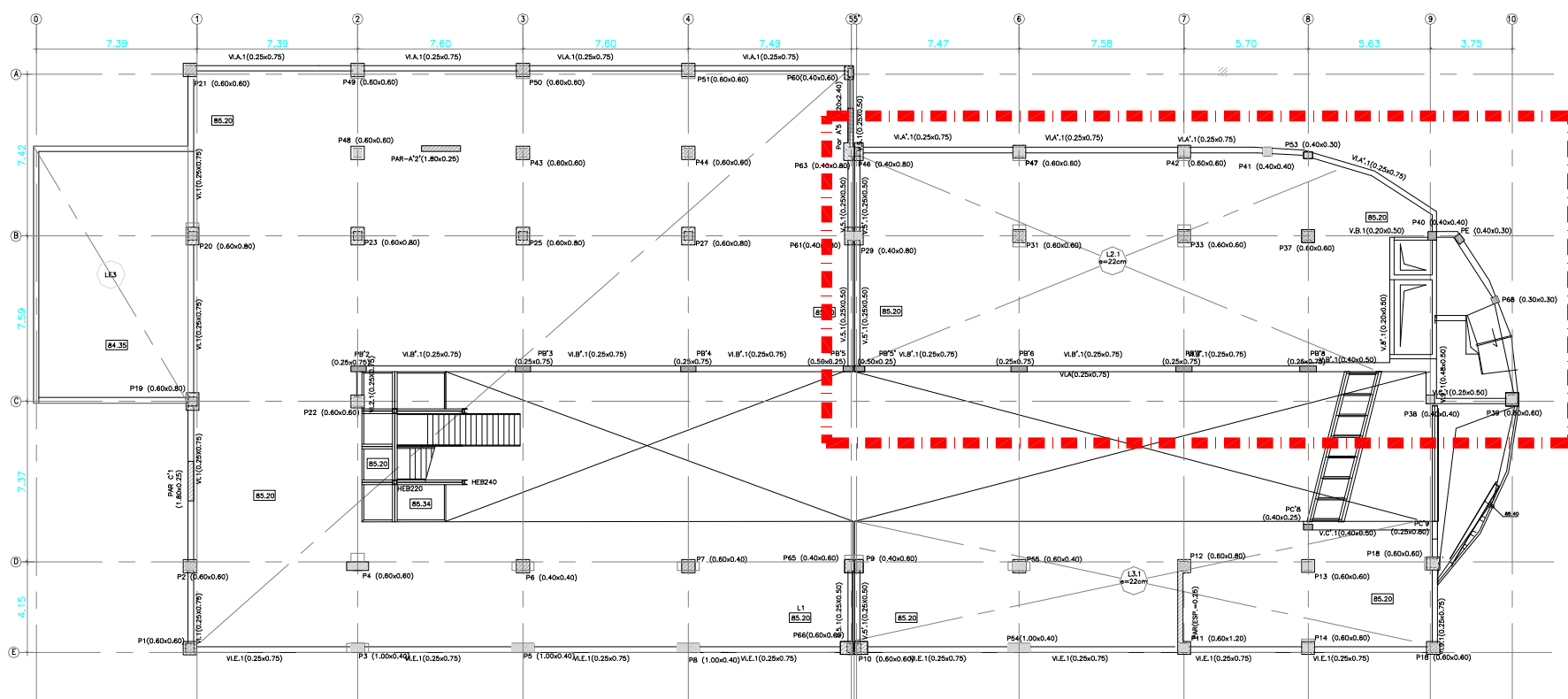
PLANTA DE FUNDAÇÕES



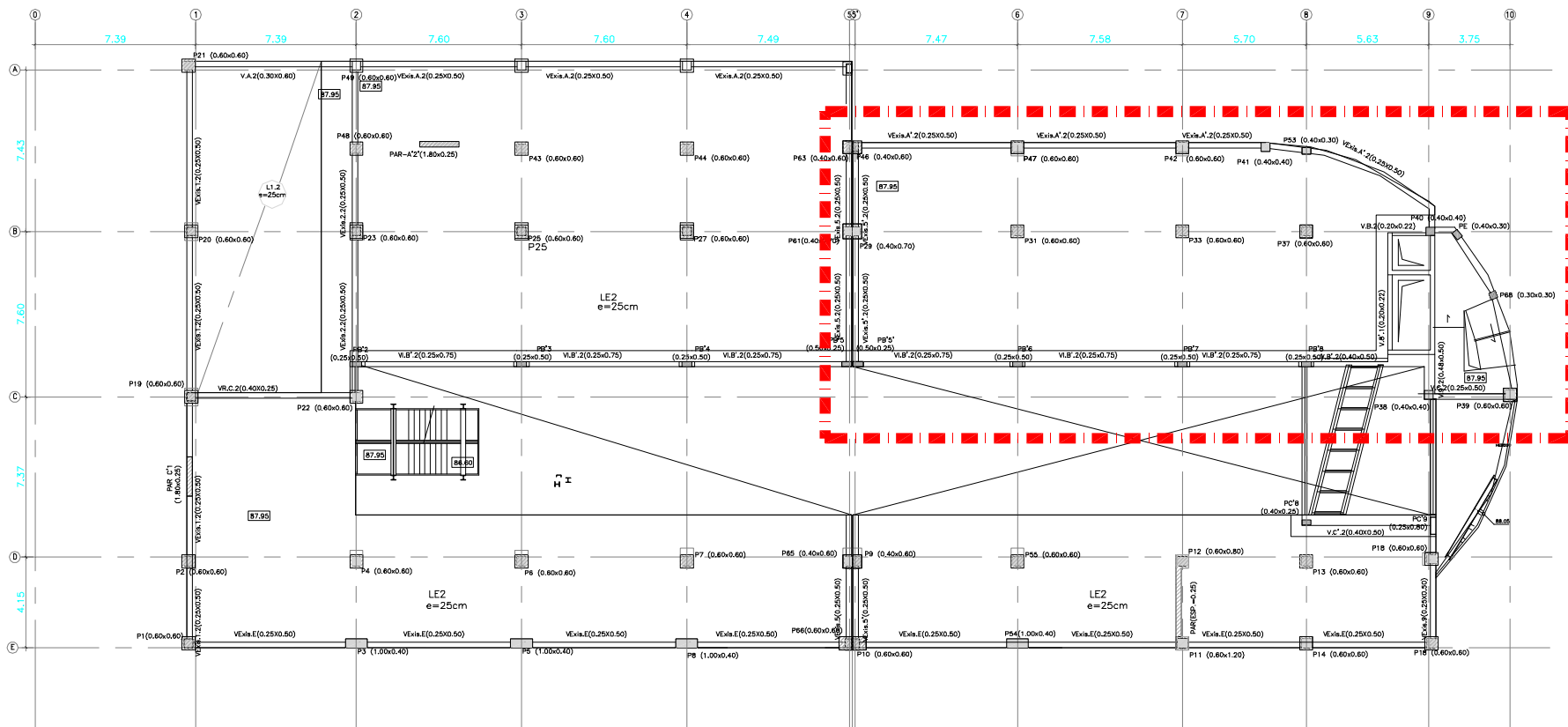
PLANTA DO PISO -1 (LAJE TÉRREA)



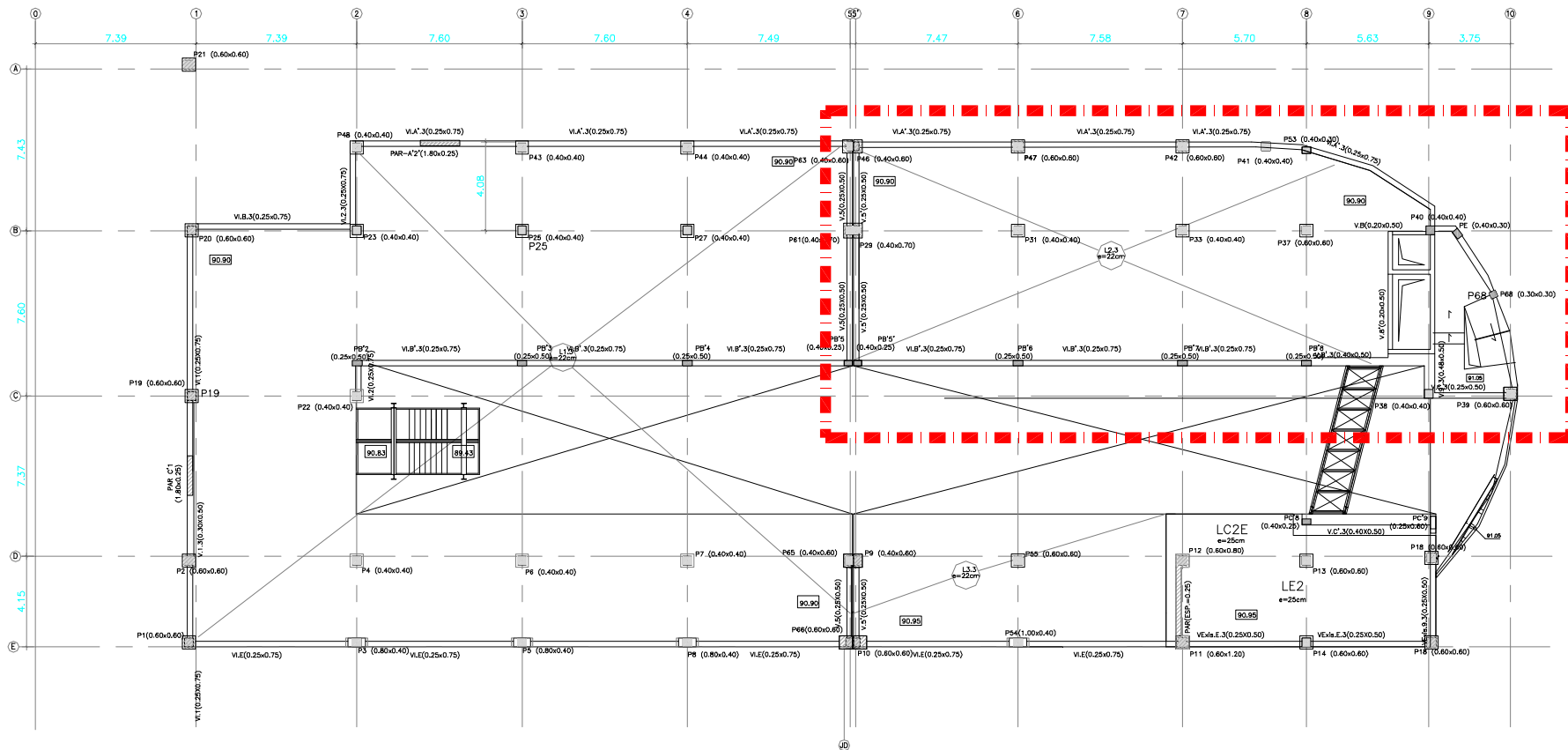
PLANTA ESTRUTURAL PISO 1 (NOVO)



PLANTA ESTRUTURAL PISO 2 (EXISTENTE)



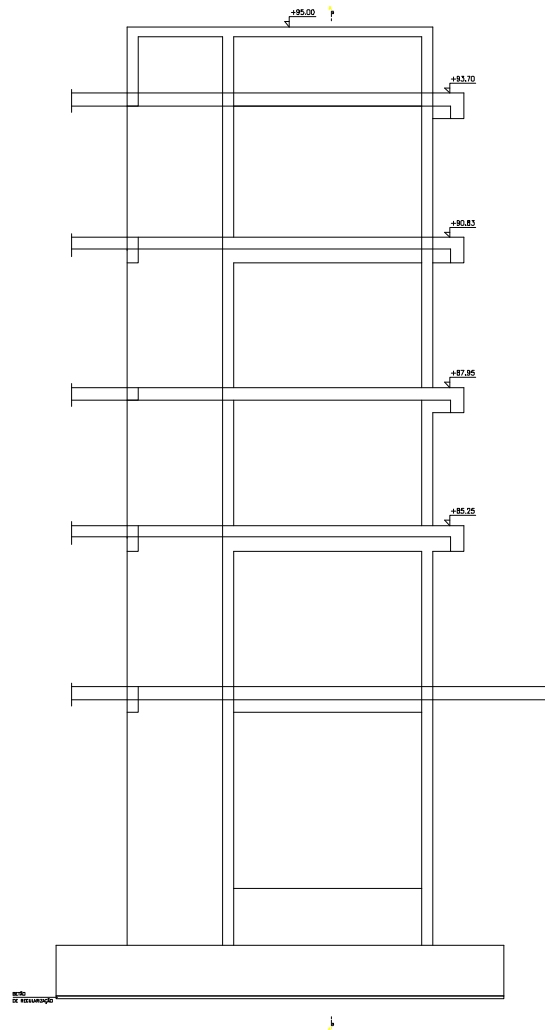
PLANTA ESTRUTURAL PISO 3 (NOVO)



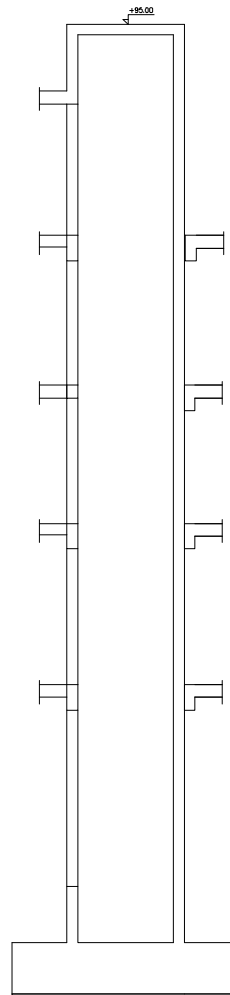
[illegible]

B.2 – CAIXA DE ELEVADOR

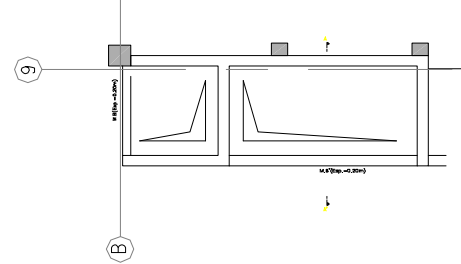
ALÇADO DO NÚCLEO DE ELEVADORES



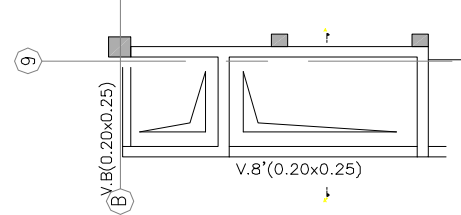
CORTE A-A'



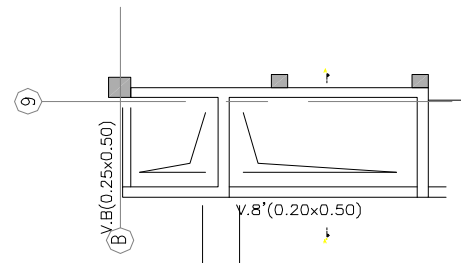
SAPATA DE FUNDAÇÃO



PLANTA ESTRUTURAL – PISO 2



PLANTA ESTRUTURAL – PISO 0, 1 e 3



[illegible]

Technical drawing of a reinforced concrete structure, showing a cross-section and a plan view.

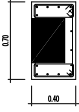
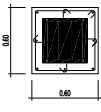
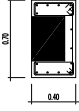
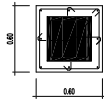
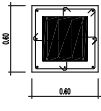
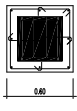
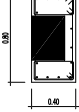
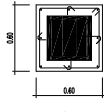
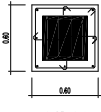
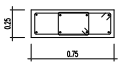
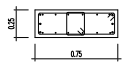
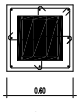
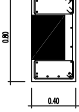
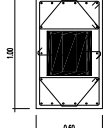
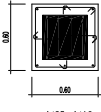
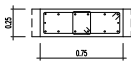
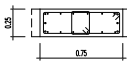
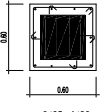
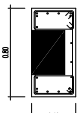
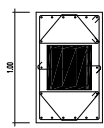
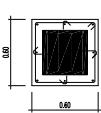
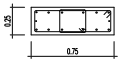
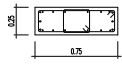
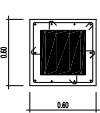
Cross-section (Top):

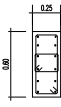
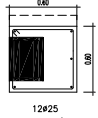
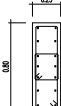
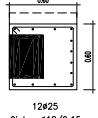
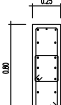
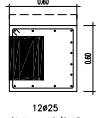
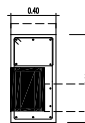
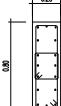
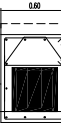
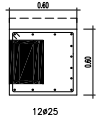
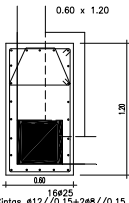
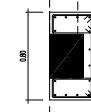
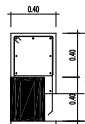
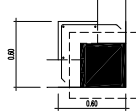
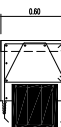
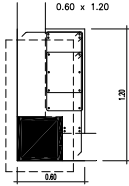
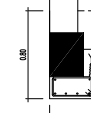
- Vertical wall section with reinforcement bars (4#20, 5#20, 4#20) and stirrups (Cinta #10/0.15(2R)).
- Dimensions: 0.42, 0.15, 0.075, 0.09.
- Labels: ARMADURA COMPRESIONADO, Cinta #10/0.15(2R), ARMADURA DE TRACCION.

Plan View (Bottom):

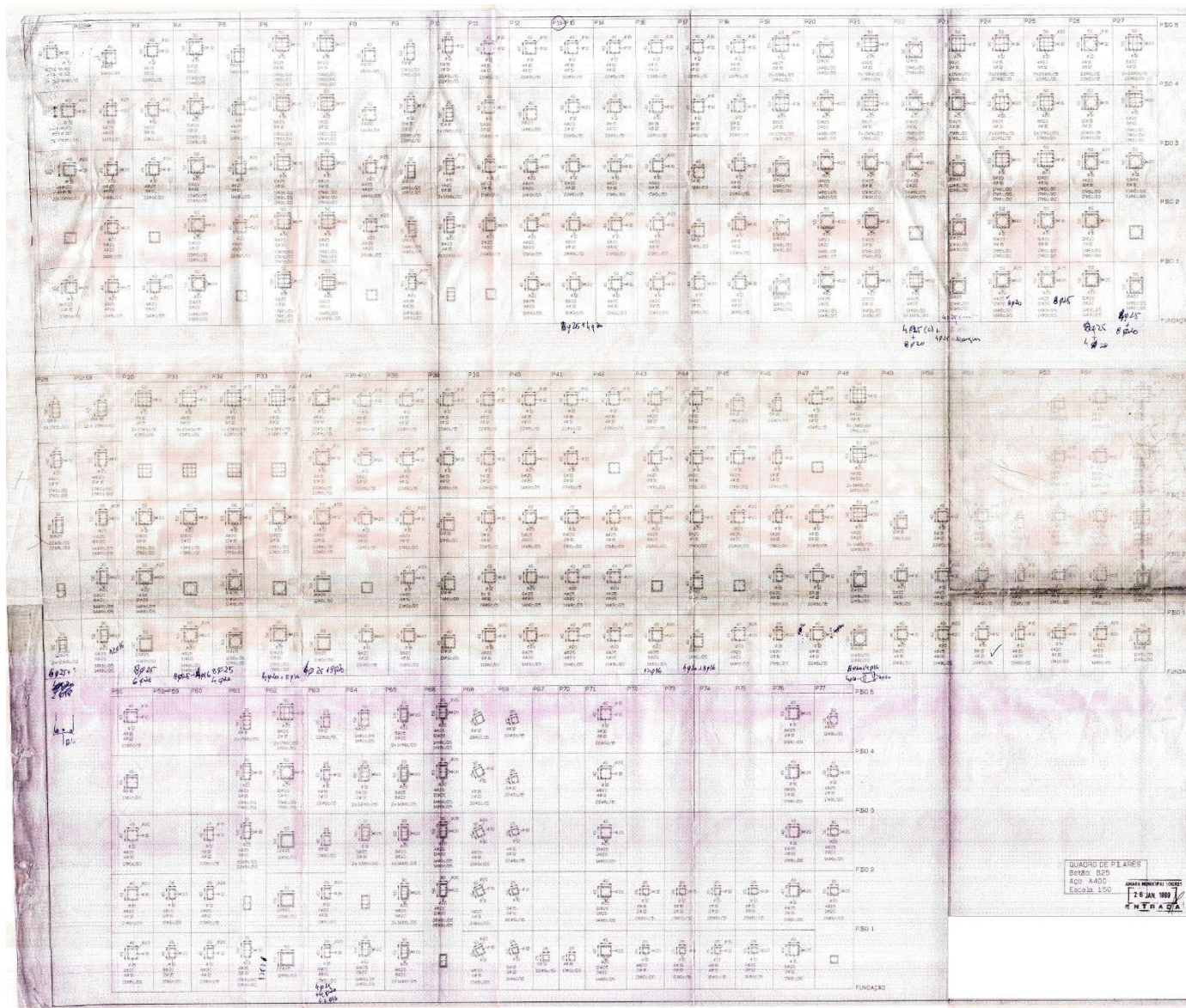
- Horizontal section with reinforcement bars (4#20, 5#20, 4#20) and stirrups (Cinta #10/0.15(2R)).
- Dimensions: 0.42, 0.15, 0.075, 0.13.
- Labels: Cinta #10/0.15(2R), ARMADURA COMPRESIONADO, ARMADURA DE TRACCION.

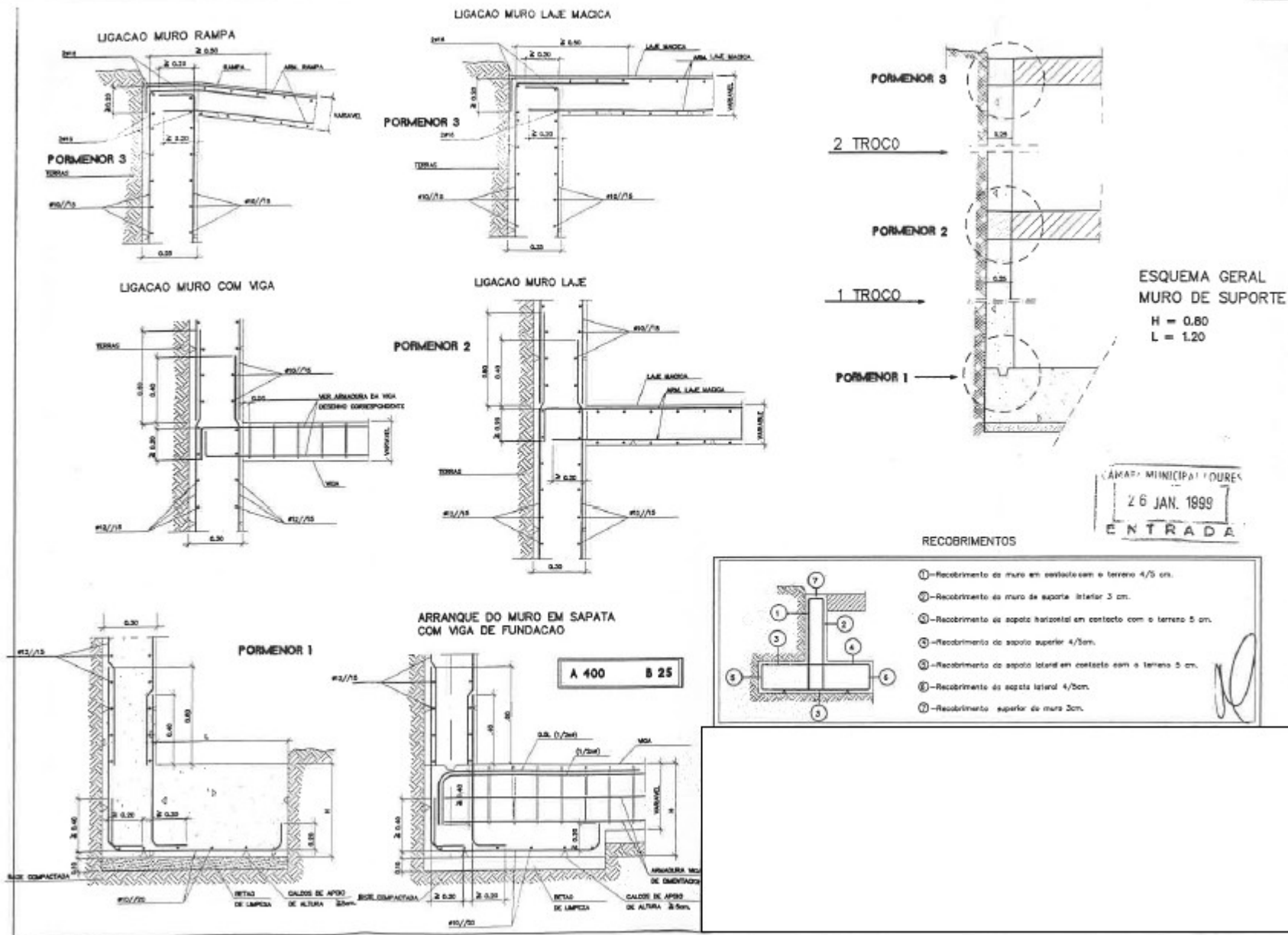
B.3 – QUADRO DE PILARES – BLOCO B

PILARES	PB5/P29	PB6/P31, PB7/P33	PB8/P37	PB'5"	PB'6, PB'7"	PB'8	PC'8	PD8/P13
PISOS								
Piso 4 - Piso 3	0.40 x 0.70  10#25+4#16 Cintas #8/0.15	 Armaduras Existentes	0.60 x 0.60  4#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.40 x 0.25  4#25+2#16+4#12 Cintas #8/0.15	0.50 x 0.25  4#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.50 x 0.25  4#25+2#20+4#16 Cintas #8/0.15	0.40 x 0.25  6#20+4#16 Cintas #8/0.15	 Armaduras Existentes
Piso 3 - Piso 2	0.40 x 0.70  10#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  8#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  4#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.50 x 0.25  4#25+6#16 Cintas #8/0.15	0.50 x 0.25  4#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.50 x 0.25  4#25+2#20+4#16 Cintas #8/0.15	0.40 x 0.25  6#20+4#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  8#16 Cintas #8/0.15
Piso 2 - Piso 1	0.40 x 0.80  10#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  8#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  4#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.50 x 0.25  4#25+6#16 Cintas #8/0.15	0.75 x 0.25  8#25 Cintas #8/0.15	0.75 x 0.25  6#25+10#16 Cintas #8/0.15	0.40 x 0.25  6#20+4#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  8#16 Cintas #8/0.15
Piso 1 - Piso 0	0.40 x 0.80  10#25+4#20+4#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 1.00  12#25+6#20 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  4#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.50 x 0.25  6#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.75 x 0.25  12#25+2#16 Cintas #8/0.15	0.75 x 0.25  6#25+10#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.40  10#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  6#25+4#20 Cintas #8/0.15
Piso 0 - Fundação	0.40 x 0.80  10#25+4#20+4#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 1.00  12#25+6#20 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  4#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.50 x 0.30  6#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.75 x 0.25  12#25+2#16 Cintas #8/0.15	0.75 x 0.25  6#25+10#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.40  10#25+4#16 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  6#25+4#20 Cintas #8/0.15

PILARES	PD5'/P9	PC10/P39	PC'9	PD6/P55	PE8/P14	PD9/P18	PA'6/P47, PA'7/P42	PE5'/P10	PE7/P11	PA'5'
PISOS										
Piso 4 - Piso 3	0.40 x 0.60  4#25+2#20 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  4#25 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.25  7#25+2#16 Cintas #8//0.15	0.40 x 0.40  Armaduras Existentes	0.40 x 0.40  Armaduras Existentes	0.60 x 0.60  4#25+2#20 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  12#25 Cintas #12/0.15 Selagens #12//0.15 (ver pormenor)	0.60 x 0.60  12#25 Cintas #8/0.15	0.40 x 0.60  6#20+2#16 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.15 (ver pormenor)
Piso 3 - Piso 2	0.40 x 0.60  4#25+4#20 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  4#25 Cintas #8/0.15	0.80 x 0.25  7#25+2#16 Cintas #8//0.15	0.60 x 0.60  8#16 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  4#25 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  4#25+2#20 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  8#16 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  12#25 Cintas #12/0.15 Selagens #12//0.15 (ver pormenor)	0.60 x 0.60  12#25 Cintas #8/0.15	0.40 x 0.60  6#20+2#16 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.15 (ver pormenor)
Piso 2 - Piso 1	0.40 x 0.60  4#25+4#20 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  4#25 Cintas #8/0.15	0.80 x 0.25  7#25+2#16 Cintas #8//0.15	0.60 x 0.60  8#16 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  4#25 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  4#25+2#20 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  8#16 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  12#25 Cintas #12/0.15 Selagens #12//0.15 (ver pormenor)	0.60 x 0.60  12#25 Cintas #8/0.15	0.40 x 0.80  10#25+4#20 Cintas #8/0.15
Piso 1 - Piso 0	0.40 x 0.80  6#25+5#20 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  4#25 Cintas #8/0.15	0.80 x 0.25  7#25+2#16 Cintas #8//0.15	0.60 x 0.80  10#25+2#20 Cintas #8/0.15	0.60 x 0.60  4#25+2#20 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  4#25+2#20 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  8#16 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.60 c/0.30m (ver pormenor)	0.60 x 0.60  12#25 Cintas #12/0.15 Selagens #12//0.15 (ver pormenor)	0.60 x 1.20  16#25 Cintas #12//0.15+2#8//0.15	0.40 x 0.80  10#25+4#20 Cintas #8/0.15
Piso 0 Fundação	0.40 x 0.80  8#25+5#20 Cintas #8/0.15	0.40 x 0.70  3#20 Cintas #8/0.15	0.80 x 0.25  7#25+2#16 Cintas #8//0.15	0.60 x 0.80  6#25+4#20 Cintas #8/0.15 Selagens #12//0.15 (ver pormenor)	0.60 x 0.60  4#25+2#20 Selagens #12//0.15 (ver pormenor)	0.60 x 0.60  4#25+2#20 Selagens #12//0.15 (ver pormenor)	0.60 x 0.60  4#25+2#20 Selagens #12//0.15 (ver pormenor)		0.60 x 1.20  16#25 Cintas #12//0.15+2#8//0.15	0.40 x 0.80  5#25+1#20 Cintas #8/0.15

B.4 – QUADRO DE PILARES E MURO – EDIFÍCIO ORIGINAL





ANEXO C. - RELATÓRIO DE VULNERABILIDADE SÍSMICA DO EDIFÍCIO

EST.SIS.001 - Relatório de vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes

Projecto	20220522 - Hotel
Fase	LIC - Projeto de Licenciamento
Especialidade	EST - Estruturas
Subespecialidade	000 - Sem Subespecialidade
Local	---
Zona	Lisboa
Data	maio 2022

rev.	data	descrição	preparado	revisto	aprovado

- 1 Verificação se existe dispensa ao estudo de vulnerabilidade sísmica de acordo com a Portaria n.º 302
- 2 Verificação das condições de aplicabilidade para a metodologia I e II
- 3 Avaliação de segurança de acordo com o método expedito II
- 4 Avaliação de segurança de acordo com o método expedito I

EST.SIS.001 - Relatório de vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes**Portaria nº302/2019****1 -Verificar se existe dispensa ao estudo de vulnerabilidade sísmica de acordo com a Portaria nº302/2019**

Segundo o Decreto-Lei n.º 95/2019 de 18 de julho é obrigatória a avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes de acordo com a Portaria n.º 302/2019 de 12 de setembro, sempre que se verifique uma das seguintes condições nas obras de ampliação, alteração ou reconstrução:

a) Existência de sinais evidentes de degradação da estrutura do edifício;

Não

b) Procedam ou tenham por efeito uma alteração do comportamento estrutural do edifício;

Sim

c) Cujas áreas interveniadas, incluindo demolições e ampliações, exceda os 25% da área bruta de construção do edifício;

Sim

Área bruta (m ²)	1502,00	38,81%
Área interv. (m ²)	583,00	

d) Cujo custo de construção exceda em pelo menos 25% o custo de construção nova de edifício equivalente.

Não

	Área	Custo (€/m ²)	Custo (€)
Custo constr.	1502,00	512,00	769 024,00
Custo constr. nova equiv.	583,00	512,00	298 496,00
			38,81%

e) A avaliação da vulnerabilidade sísmica de um edifício é ainda obrigatória no caso de edifícios das classes de importância III ou IV, definidas nos termos da norma NP EN 1998 - 1:2010, sempre que se verifique alguma das situações atrás descritas, com redução para 15% dos limites referidos de 25%.

-

Não dispensa o estudo de vulnerabilidade sísmica

EST.SIS.001 - Relatório de vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes

2 - Verificação das condições de aplicabilidade para a metodologia I e II

2.1 - Classe de importância do edifício

[NP EN 1998-1:2010] - Quadro 4.3

II

[Edif. corrente]

2.2 - Tipo de solo

[NP EN 1998-1:2010] - Quadro 3.1

Solo tipo C

2.3. a) - Número de pisos acima do solo

2.3. b) - Área de implantação [m²]

4

< 5 pisos

OK

300,483

< 400 m²

OK

2.4 - Regularidade estrutural

Sim

2.4.1 - Regularidade em planta - Cumprimento dos seguintes critérios:

2.4.1.1 - Simetria entre distribuição de massas e rigidez horizontal em relação a x e y.

Sim

2.4.1.2 - Planta compacta.

Sim

2.4.1.3 - Formas não irregulares (L, C, H, I e X)

Sim

2.4.1.4 - Esbelteza em planta λ

Sim

< 4

OK

$$\lambda = L_{\max}/L_{\min}$$

Maior dimensão em planta [m] 30,55

Menor dimensão em planta [m] 11,95

λ 2,56

2.4.1.5 - Verificações da excentricidade e raio de torção.

Sim

[Cálculos na Folha 2.1]

2.4.2 - Regularidade em altura - Cumprimento dos seguintes critérios:

2.4.2.1 - Elementos verticais resistentes a ações laterais são contínuos em altura.

Sim

[Núcleos e pilares são contínuos] - Nota 1)

2.4.2.2 - A rigidez lateral e massa por piso permanecem constantes.

Sim

2.4.2.3 - Relação entre a resistência real e de cálculo não é desproporcional entre pisos adjacentes.

Sim

2.4.2.4 - Regularidade de recuos em altura.

Sim

< 0,50

L3 [m] 0,00

L1 [m] 0,00

L [m] 10,40

Nota 1): Podemos assumir que são contínuos porque nesta avaliação, a cave não está incluído na definição de piso, uma vez que se situa abaixo da superfície do terreno (Relatório 81/2019 - INEC)

O edifício reúne as condições de aplicabilidade para avaliação estrutural, pelos métodos expeditos I e II

EST.SIS.001 - Relatório de vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes

2.4.1.5 - Verificações da excentricidade e raio de torção

Piso 1

Elem. Vertical	bi	hi	Área	x _i	y _i	Xcg,i	Ycg,i	IXG,i	IYG,i	Kx,i	Ky,i	XcR	YcR	mi	Li	ycg	Xcg	Kx	Ky	rx	ry	Io,xi	IoX	Io,yi	Io,y	M(Kg)	Is,x	Is,y	e0,x	e0,y
P46	0,40	0,80	0,32	0,00	11,50	0,00	11,50	0,02	0,00	296960	1187840	25,34	2,74	4000	5	5,24	18,43	111294,76232,21	1899318,703,10	26,20	10,82	156822	5219519,94	1358574	14841570,04	188475,31	5,26	8,87	6,91	2,49
P47	0,60	0,60	0,36	7,47	11,50	7,47	11,50	0,01	0,01	751680	751680			4500	5							176425		540490						
P42	0,60	0,60	0,36	15,05	11,50	15,05	11,50	0,01	0,01	751680	751680			4500	5							176425		51392						
P41	0,40	0,40	0,16	18,85	11,50	18,85	11,50	0,00	0,00	148480	148480			2000	5							264500		354						
P53	0,40	0,30	0,12	20,75	11,50	20,75	11,50	0,00	0,00	111360	62640			1500	5							58808		8078						
P29	0,40	0,80	0,32	0,00	7,60	0,00	7,60	0,02	0,00	296960	1187840			4000	5							22305		1358574						
P31	0,60	1,00	0,60	7,47	7,60	7,47	7,60	0,05	0,02	1252800	3480000			7500	5							41823		900816						
P33	0,60	1,00	0,60	15,05	7,60	15,05	7,60	0,05	0,02	1252800	3480000			7500	5							41823		85654						
P37	0,60	0,60	0,36	20,75	7,60	20,75	7,60	0,01	0,01	751680	751680			4500	5							25094		24233						
P40	0,40	0,40	0,16	26,38	7,60	26,38	7,60	0,00	0,00	148480	148480			2000	5							11153		126423						
PE	0,40	0,30	0,12	27,78	7,60	27,78	7,60	0,00	0,00	111360	62640			1500	5							8365		131150						
PB' 5	0,50	0,25	0,13	0,00	1,50	0,00	1,50	0,00	0,00	181250	45313			1563	5							21839		530693						
PB' 6	0,75	0,25	0,19	7,47	1,50	7,47	1,50	0,00	0,01	611719	67969			2344	5							32758		281505						
PB' 7	0,75	0,25	0,19	15,05	1,50	15,05	1,50	0,00	0,01	611719	67969			2344	5							32758		26767						
PB' 8	0,75	0,25	0,19	20,75	1,50	20,75	1,50	0,00	0,01	611719	67969			2344	5							32758		12621						
P38	0,40	0,40	0,16	26,38	0,00	26,38	0,00	0,00	0,00	148480	148480			2000	5							54885		126423						
P39	0,60	0,60	0,36	30,13	0,00	30,13	0,00	0,01	0,01	751680	751680			4500	5							123492		616066						
Muro existente reto	20,75	0,19	3,84	10,38	1,50	10,38	1,50	0,01	137,74	9586366422	762011			47984	5							107965		3113060						
Muro existente curvo 1	6,20	0,25	1,55	23,46	10,57	23,46	10,57	17,49	21,81	1517730712	1217382477			19388	5							2164855		489876						
Muro exist reto no pilar 4	0,19	0,97	0,18	26,47	8,08	26,47	8,08	0,01	0,00	35548	973253			2239	5							146288		144811						
Muro exist reto no pilar 5	1,25	0,19	0,23	27,00	9,19	27,00	9,19	0,00	0,03	2080650	45794			2884	5							243678		211994						
Muro existente curvo 2	0,26	7,28	1,92	29,42	4,67	29,42	4,67	8,50	0,01	777347	591776878			24038	5							524914		2904616						
Paredes do nucleo 1	0,20	1,97	0,39	24,58	6,62	24,58	6,62	0,13	0,00	91408	8868633			4925	5							215509		186008						
Paredes do nucleo 2	0,20	1,97	0,39	26,45	6,62	26,45	6,62	0,13	0,00	91408	8868633			4925	5							215509		316824						
Paredes do nucleo 3	1,75	0,20	0,35	25,45	5,73	25,45	5,73	0,00	0,09	6216875	81200			4375	5							143393		215638						
Paredes do nucleo 4	0,20	3,65	0,73	26,55	3,81	26,55	3,81	0,81	0,00	169360	56407465			9125	5							132113		601738						
Paredes do nucleo 5	1,75	0,20	0,35	25,50	2,08	25,50	2,08	0,00	0,09	6216875	81200			4375	5							18928		218720						
P42	0,60	0,60	0,36	25,50	2,08	25,50	2,08	0,01	0,01	855360	855360			4500	5							19469		206778						
P68	0,30	0,30	0,09	25,50	2,08	25,50	2,08	0,00	0,00	53460	53460			1125	5							4867		51694						

Verificação	Direção x			Direção y		
$e_{0x} \leq 0,30 \cdot r_x$	0,3r _x	e _{0,x}	OK	0,3r _y	e _{0,y}	OK
	7,86	7		3,25	2,49	
$r_x \geq l_y$	r _x	l _{x,x}	OK	r _y	l _{x,y}	OK
	26,20	5		10,82	8,87	

Piso 2

Elem. Vertical	bi	hi	Área	x _i	y _i	Xcg,i	Ycg,i	IXG,i	IYG,i	Kx,i	Ky,i	XcR	YcR	mi	Li	ycg	Xcg	Kx	Ky	r _x	r _y	lo,xi	loX	lo,yi	lo,y	M(Kg)	Is,x	Is,y	e0,x	e0,y
P46	0,40	0,80	0,32	0,00	11,50	0,00	11,50	0,02	0,00	422400	1689600	24,92	21,56	3200	4,0	5,91	18,72	30401466,56	117792204,34	27,22	53,58	99978	1537195,03	1121560	6078433,34	68755,00	4,73	9,40	6,20	15,65
P47	0,60	0,60	0,36	7,47	11,50	7,47	11,50	0,01	0,01	1069200	1069200			3600	4,0							112475		455731						
P42	0,60	0,60	0,36	15,05	11,50	15,05	11,50	0,01	0,01	1069200	1069200			3600	4,0							112475		48523						
P41	0,40	0,40	0,16	18,85	11,50	18,85	11,50	0,00	0,00	211200	211200			1600	4,0							211600		26						
P53	0,40	0,30	0,12	20,75	11,50	20,75	11,50	0,00	0,00	158400	89100			1200	4,0							37492		4939						
P29	0,40	0,80	0,32	0,00	7,60	0,00	7,60	0,02	0,00	422400	1689600			3200	4,0							9135		1121560						
P31	0,60	0,60	0,36	7,47	7,60	7,47	7,60	0,01	0,01	1069200	1069200			3600	4,0							10277		455731						
P33	0,60	0,60	0,36	15,05	7,60	15,05	7,60	0,01	0,01	1069200	1069200			3600	4,0							10277		48523						
P37	0,60	0,60	0,36	20,75	7,60	20,75	7,60	0,01	0,01	1069200	1069200			3600	4,0							10277		14816						
P40	0,40	0,40	0,16	26,38	7,60	26,38	7,60	0,00	0,00	211200	211200			1600	4,0							4567		93849						
PE	0,40	0,30	0,12	27,78	7,60	27,78	7,60	0,00	0,00	158400	89100			1200	4,0							3426		98472						
PB'5	0,50	0,25	0,13	0,00	1,50	0,00	1,50	0,00	0,00	257813	64453			1250	4,0							24315		438109						
PB'6	0,75	0,25	0,19	7,47	1,50	7,47	1,50	0,00	0,01	870117	96680			1875	4,0							36473		237360						
PB'7	0,75	0,25	0,19	15,05	1,50	15,05	1,50	0,00	0,01	870117	96680			1875	4,0							36473		25272						
PB'8	0,75	0,25	0,19	20,75	1,50	20,75	1,50	0,00	0,01	870117	96680			1875	4,0							36473		7717						
P38	0,40	0,40	0,16	26,38	0,00	26,38	0,00	0,00	0,00	211200	211200			1600	4,0							55893		93849						
P39	0,60	0,60	0,36	30,13	0,00	30,13	0,00	0,01	0,01	1069200	1069200			3600	4,0							125760		468569						
Paredes do nucleo 1	0,20	1,97	0,39	24,58	6,62	24,58	6,62	0,13	0,00	130020	12614865			3940	4,0							172408		135007						
Paredes do nucleo 2	0,20	1,97	0,39	26,45	6,62	26,45	6,62	0,13	0,00	130020	12614865			3940	4,0							172408		235347						
Paredes do nucleo 3	1,75	0,20	0,35	25,45	5,73	25,45	5,73	0,00	0,09	8842969	115500			3500	4,0							114715		158463						
Paredes do nucleo 4	0,20	3,65	0,73	26,55	3,81	26,55	3,81	0,81	0,00	240900	80234756			7300	4,0							105690		447405						
Paredes do nucleo 5	1,75	0,20	0,35	25,50	2,08	25,50	2,08	0,00	0,09	8842969	115500			3500	4,0							15142		160827						
P42	0,60	0,60	0,36	25,50	2,08	25,50	2,08	0,01	0,01	1069200	1069200			3600	4,0							15575		165422						
P68	0,30	0,30	0,09	25,50	2,08	25,50	2,08	0,00	0,00	66825	66825			900	4,0							3894		41356						

Verificação	Direção x			Direção y		
$e_{0x} \leq 0,30 \cdot r_x$	0,3r _x	e _{0,x}	OK	0,3r _y	e _{0,y}	OK
	8,17	6		16,07	15,65	
$r_x \geq l_x$	r _x	l _x	OK	r _y	l _y	OK
	27,22	5		53,58	9,40	

Piso 3

Elem. Vertical	bi	hi	Área	x _i	y _i	Xcg,i	Ycg,i	IXG,i	IYG,i	Kx,i	Ky,i	XcR	YcR	mi	Li	ycg	Xcg	Kx	Ky	r _x	r _y	lo,xi	loX	lo,yi	lo,y	M(Kg)	ls,x	ls,y	e0,x	e0,y
P46	0,40	0,80	0,32	0,00	11,50	0,00	11,50	0,02	0,00	482743	1930971	24,92	21,56	2800	3,5	5,91	18,72	34744533,21	134619662,10	27,22	53,58	87481	1345045,80	981365	5318629,21	60160,63	4,73	9,40	6,20	15,65
P47	0,60	0,60	0,36	7,47	11,50	7,47	11,50	0,01	0,01	1221943	1221943			3150	3,5							98416		398765						
P42	0,60	0,60	0,36	15,05	11,50	15,05	11,50	0,01	0,01	1221943	1221943			3150	3,5							98416		42457						
P41	0,40	0,40	0,16	18,85	11,50	18,85	11,50	0,00	0,00	241371	241371			1400	3,5							185150		23						
P53	0,40	0,30	0,12	20,75	11,50	20,75	11,50	0,00	0,00	181029	101829			1050	3,5							32805		4321						
P29	0,40	0,80	0,32	0,00	7,60	0,00	7,60	0,02	0,00	482743	1930971			2800	3,5							7993		981365						
P31	0,60	0,60	0,36	7,47	7,60	7,47	7,60	0,01	0,01	1221943	1221943			3150	3,5							8992		398765						
P33	0,60	0,60	0,36	15,05	7,60	15,05	7,60	0,01	0,01	1221943	1221943			3150	3,5							8992		42457						
P37	0,60	0,60	0,36	20,75	7,60	20,75	7,60	0,01	0,01	1221943	1221943			3150	3,5							8992		12964						
P40	0,40	0,40	0,16	26,38	7,60	26,38	7,60	0,00	0,00	241371	241371			1400	3,5							3996		82118						
PE	0,40	0,30	0,12	27,78	7,60	27,78	7,60	0,00	0,00	181029	101829			1050	3,5							2997		86163						
PB'5	0,50	0,25	0,13	0,00	1,50	0,00	1,50	0,00	0,00	294643	73661			1094	3,5							21276		383346						
PB'6	0,75	0,25	0,19	7,47	1,50	7,47	1,50	0,00	0,01	994420	110491			1641	3,5							31913		207690						
PB'7	0,75	0,25	0,19	15,05	1,50	15,05	1,50	0,00	0,01	994420	110491			1641	3,5							31913		22113						
PB'8	0,75	0,25	0,19	20,75	1,50	20,75	1,50	0,00	0,01	994420	110491			1641	3,5							31913		6752						
P38	0,40	0,40	0,16	26,38	0,00	26,38	0,00	0,00	0,00	241371	241371			1400	3,5							48907		82118						
P39	0,60	0,60	0,36	30,13	0,00	30,13	0,00	0,01	0,01	1221943	1221943			3150	3,5							110040		409998						
Paredes do nucleo 1	0,20	1,97	0,39	24,58	6,62	24,58	6,62	0,13	0,00	148594	14416989			3448	3,5							150857		118131						
Paredes do nucleo 2	0,20	1,97	0,39	26,45	6,62	26,45	6,62	0,13	0,00	148594	14416989			3448	3,5							150857		205928						
Paredes do nucleo 3	1,75	0,20	0,35	25,45	5,73	25,45	5,73	0,00	0,09	10106250	132000			3063	3,5							100375		138656						
Paredes do nucleo 4	0,20	3,65	0,73	26,55	3,81	26,55	3,81	0,81	0,00	275314	91696864			6388	3,5							92479		391479						
Paredes do nucleo 5	1,75	0,20	0,35	25,50	2,08	25,50	2,08	0,00	0,09	10106250	132000			3063	3,5							13250		140724						
P42	0,60	0,60	0,36	25,50	2,08	25,50	2,08	0,01	0,01	1221943	1221943			3150	3,5							13628		144744						
P68	0,30	0,30	0,09	25,50	2,08	25,50	2,08	0,00	0,00	76371	76371			788	3,5							3407		36186						

Verificação	Direção x			Direção y		
$e_{\text{rel}} \leq 0,30 \cdot r_x$	0,3r _x	e _{0,x}	OK	0,3r _y	e _{0,y}	OK
	8,17	6		16,07	15,65	
$r_x \geq l_x$	r _x	l _{s,x}	OK	r _y	l _{s,y}	OK
	27,22	5		53,58	9,40	

Cobertura

Elem. Vertical	bi	hi	Área	x _i	y _i	Xcg,i	Ycg,i	IXG,i	IYG,i	Kx,i	Ky,i	XcR	YcR	mi	Li	ycg	Xcg	Kx	Ky	rx	ry	Io,xi	IoX	Io,yi	Io,y	M(Kg)	Is,x	Is,y	e0,x	e0,y
P46	0,40	0,60	0,24	0,00	11,50	0,00	11,50	0,01	0,00	362057	814629	25,47	22,95	2100	3,5	6,46	19,78	30359245,71	130779581,74	27,76	57,63	53312	713251	731395,86	3313683,84	53751,25	3,69	7,85	5,69	16,49
P47	0,60	0,60	0,36	7,47	11,50	7,47	11,50	0,01	0,01	1221943	1221943																			
P42	0,60	0,60	0,36	15,05	11,50	15,05	11,50	0,01	0,01	1221943	1221943																			
P41	0,40	0,40	0,16	18,85	11,50	18,85	11,50	0,00	0,00	241371	241371																			
P53	0,40	0,30	0,12	20,75	11,50	20,75	11,50	0,00	0,00	181029	101829																			
P29	0,40	0,70	0,28	0,00	7,60	0,00	7,60	0,01	0,00	422400	1293600																			
P31	0,40	0,40	0,16	7,47	7,60	7,47	7,60	0,00	0,00	241371	241371																			
P33	0,40	0,40	0,16	15,05	7,60	15,05	7,60	0,00	0,00	241371	241371																			
P37	0,60	0,60	0,36	20,75	7,60	20,75	7,60	0,01	0,01	1221943	1221943																			
P40	0,40	0,40	0,16	26,38	7,60	26,38	7,60	0,00	0,00	241371	241371																			
PE	0,40	0,30	0,12	27,78	7,60	27,78	7,60	0,00	0,00	181029	101829																			
PB'5	0,40	0,25	0,10	0,00	1,50	0,00	1,50	0,00	0,00	150857	58929																			
PB'6	0,50	0,25	0,13	7,47	1,50	7,47	1,50	0,00	0,00	294643	73661																			
PB'7	0,50	0,25	0,13	15,05	1,50	15,05	1,50	0,00	0,00	294643	73661																			
PB'8	0,50	0,25	0,13	20,75	1,50	20,75	1,50	0,00	0,00	294643	73661																			
P38	0,40	0,40	0,16	26,38	0,00	26,38	0,00	0,00	0,00	241371	241371																			
P39	0,60	0,60	0,36	30,13	0,00	30,13	0,00	0,01	0,01	1221943	1221943																			
Paredes do nucleo 1	0,20	1,97	0,39	24,58	6,62	24,58	6,62	0,13	0,00	148594	14416989																			
Paredes do nucleo 2	0,20	1,97	0,39	26,45	6,62	26,45	6,62	0,13	0,00	148594	14416989																			
Paredes do nucleo 3	1,75	0,20	0,35	25,45	5,73	25,45	5,73	0,00	0,09	10106250	132000																			
Paredes do nucleo 4	0,20	3,65	0,73	26,55	3,81	26,55	3,81	0,81	0,00	275314	91696864																			
Paredes do nucleo 5	1,75	0,20	0,35	25,50	2,08	25,50	2,08	0,00	0,09	10106250	132000																			
P42	0,60	0,60	0,36	25,50	11,50	29,42	11,50	0,01	0,01	1221943	1221943																			
P68	0,30	0,30	0,09	25,50	4,83	15,15	4,83	0,00	0,00	76371	76371																			

Verificação	Direção x		OK	Direção y		OK
$e_{\alpha} \leq 0,30 \cdot r_x$	0,3r _x	e _{0,x}		0,3r _y	e _{0,y}	
	8,33	6		17,29	16,49	
$r_x \geq l_x$	r _x	l _{x,x}	OK	r _y	l _{x,y}	OK
	27,76	4		57,63	7,85	

EST.SIS.001 - Relatório de vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes

4 - Avaliação de segurança de acordo com o método expedito II

Verificação da segurança sísmica para todos os pisos

$$CS_{c,j} \geq CS_{E,j}$$

$CS_{c,j}$ - Coeficiente sísmico do edifício

$CS_{E,j}$ - Coeficiente sísmico exigido

$$CS_{c,j} = \frac{V_{H,j}}{W_E} = \frac{\sum_{i=1}^n \min(V_{F,i}, V_{C,i})}{W_E}$$

$V_{H,j}$ - Resistência para forças horizontais de todos elementos verticais

W_E - Peso total do edifício

$V_{F,j}$ - Resistência considerando mecanismos de flexão

$V_{C,i}$ - Resistência considerando mecanismos de corte

$$W_E = \sum_{j=1}^n (w_{E,j} A_{s,j})$$

$A_{s,i}$ - Área do piso

$$V_{H,j} = \sum_{i=1}^n \min(V_{F,i}, V_{C,i})$$

Em que n é o n.º de elementos verticais num dado piso j .

$$CS_{E,j} = \eta_j CS_E$$

η_j - Coeficiente em função do n.º de pisos do edifício - Tabela 5.5 do Relatório 81/2019 do LNEC

CS_E - Coeficiente sísmico exigido - Tabela 5.4 do Relatório 81/2019 do LNEC

I - Cálculo de $V_{F,j}$ de cada piso

Nota 1: $L_{v,i}$ considerar aproximadamente bi-encastrado - $L_v = 0,5 * L$

Nota 2: Tensão de cedência do aço de cálculo utilizada foi de 500 Mpa nos pilares novos e 400 Mpa nos pilares reforçados. Nos reforçados, deve ser usado o valor mais desfavorável dos materiais

$V_{F,i} = 1.24 \left(\frac{b_i h_i^2 \rho_{Li} f_{yt}}{L_{v,i}} \right)^{0.73}$ Cálculo de $V_{F,j}$											
L - Vão livre do elemento vertical [m] 5											
Elementos verticais	Armadura de reforço	Armadura existente (Antes da reabilitação)	Área de aço total (cm ²)	L_x (m)	L_y (m)	ρ	ρ (%)	f_{yt} KPa	$V_{F,x}$ (KN)	$V_{F,y}$ (KN)	$V_{F,i}$ (KN)
Piso 1											
PB'6	12φ25+ 2φ16	-	62,92	0,75	0,25	0,03	3,36	434782,61	166,25	74,55	74,55
PB'7	12φ25+ 2φ16	-	62,92	0,75	0,25	0,03	3,36	434782,61	166,25	74,55	74,55
PB'5	6φ25+φ16	-	31,46	0,50	0,25	0,03	2,52	434782,61	74,55	44,95	44,95
PB'8	6φ25+ 10φ16	-	49,56	0,75	0,25	0,03	2,64	434782,61	139,67	62,63	62,63
P31	16φ25+6φ20	10 φ20 +6 φ12	135,62	0,60	1,00	0,02	2,26	289855,07	184,06	267,25	267,25
P37	4φ25+4φ16	8 φ20+4 φ12	57,32	0,60	0,60	0,02	1,59	289855,07	98,16	98,16	98,16
P47	8φ16	8 φ16+4 φ12	16,08	0,60	0,60	0,00	0,45	289855,07	38,81	38,81	38,81
P33	12φ25+6φ20	10 φ20+6 φ16	121,23	0,60	1,00	0,02	2,02	289855,07	169,59	246,24	246,24
P29	10φ25+4φ20+4φ16	6φ 25+6φ 20	69,70	0,40	0,80	0,02	2,18	289855,07	84,21	139,68	139,68
P38	-	12 φ16	24,13	0,40	0,40	0,02	1,51	289855,07	38,82	38,82	38,82
P39	-	8φ16+4φ12	20,60	0,60	0,60	0,01	0,57	289855,07	46,50	46,50	46,50
P40	-	6φ25+4φ20	42,02	0,40	0,40	0,03	2,63	289855,07	58,20	58,20	58,20
P41	-	4φ25+4φ20	32,20	0,40	0,40	0,02	2,01	289855,07	47,92	47,92	47,92
P42	-	4φ25+4φ20	32,20	0,60	0,60	0,01	0,89	289855,07	64,43	64,43	64,43
P46	-	6φ20+2φ16	22,87	0,40	0,80	0,01	0,71	289855,07	37,33	61,92	61,92
P68	-	4φ20+4φ16	20,61	0,30	0,30	0,02	2,29	289855,07	28,05	28,05	28,05
P53	-	4φ20+4φ16	20,61	0,40	0,30	0,02	1,72	289855,07	34,60	28,05	28,05
Parede nucleo 1	20φ20+φ12//0,15	-	79,41	0,20	1,95	0,02	2,04	434782,61	75,08	395,83	395,83
Parede nucleo 2	6φ20+6φ20+φ12//0,15+φ12//0,15	-	68,57	1,75	0,20	0,02	1,96	434782,61	328,58	67,45	67,45
Parede nucleo 3	φ20//0,075+φ20//0,15+φ20//0,1075	-	188,68	0,20	5,25	0,02	1,80	434782,61	141,22	1534,13	1534,13
Parede nucleo 4	20φ25+φ12//0,15	-	118,10	2,15	0,20	0,03	2,75	434782,61	567,91	100,31	100,31
Muro existente reto	-	φ10//0,15	218,57	20,75	0,20	0,01	0,53	289855,07	3464,47	116,94	116,94
Muro existente curvo 1	-	φ10//0,15	65,35	6,20	0,25	0,00	0,42	289855,07	594,42	57,01	57,01
Muro exist reto no pilar 40	-	φ10//0,15	1,95	0,19	0,97	0,00	0,11	289855,07	3,52	11,79	11,79
muro exist reto no pilar PE	-	φ10//0,15	13,14	1,25	0,19	0,01	0,57	289855,07	57,12	14,18	14,18
Muro existente curvo 2	-	φ10//0,15	2,63	0,25	7,30	0,00	0,01	289855,07	5,47	64,20	64,20
									6715,23	3782,58	

$$V_{F,i} = 1.24 \left(\frac{b_i h_i^2 \rho_{t,i} f_{yt}}{L_{v,i}} \right)^{0.73}$$

Cálculo de $V_{F,i}$

L - Vão livre do elemento vertical [m]

4

Elementos verticais	Armadura de reforço	Armadura existente (Antes da reabilitação)	Área de aço total (cm ²)	L _x (m)	L _y (m)	ρ	ρ (%)	f _{yt} (KPa)	V _{F,x} (KN)	V _{F,y} (KN)	V _{F,i} (KN)
Piso 2											
PB'6	8φ25		39,27	0,75	0,25	0,02	2,09	434782,61	117,85	52,85	117,85
PB'7	8φ25		39,27	0,75	0,25	0,02	2,09	434782,61	117,85	52,85	117,85
PB'5	4φ25+6φ16		31,69	0,50	0,25	0,03	2,54	434782,61	74,95	45,19	74,95
PB'8	6φ25+10φ16		49,56	0,75	0,25	0,03	2,64	434782,61	139,67	62,63	139,67
P31	8φ16	10φ 20 +6 φ12	54,29	0,60	0,60	0,02	1,51	289855,07	94,34	94,34	94,34
P37	8φ16	8 φ20+4 φ12	45,73	0,60	0,60	0,01	1,27	289855,07	83,24	83,24	83,24
P47	8φ16	8φ16+8 φ12	45,73	0,60	0,60	0,01	1,27	289855,07	83,24	83,24	83,24
P33	8φ16	4φ16+8φ12	33,17	0,60	0,60	0,01	0,92	289855,07	65,84	65,84	65,84
P29	10φ25+4φ16	4φ 20 +6φ 16	78,75	0,40	0,80	0,02	2,46	289855,07	92,06	152,70	92,06
P38	-	8φ16+4φ12	20,60	0,40	0,40	0,01	1,29	289855,07	34,59	34,59	34,59
P39	-	6φ16+2φ12	14,32	0,60	0,60	0,00	0,40	289855,07	35,66	35,66	35,66
P40	-	6φ25+4φ20	42,02	0,40	0,40	0,03	2,63	289855,07	58,20	58,20	58,20
P41	-	6φ16+2φ12	14,32	0,40	0,40	0,01	0,90	289855,07	26,53	26,53	26,53
P42	-	4φ25+4φ16	27,67	0,60	0,60	0,01	0,77	289855,07	57,68	57,68	57,68
P46	-	4φ16+2φ12	10,30	0,40	0,60	0,00	0,43	289855,07	20,85	28,04	20,85
P68	-	4φ16+4φ12	12,56	0,30	0,30	0,01	1,40	289855,07	19,54	19,54	19,54
P53	-	4φ16+4φ12	12,56	0,40	0,30	0,01	1,05	289855,07	24,10	19,54	24,10
Parede núcleo 1	8φ20+φ12//0,15	-	41,70	0,20	1,95	0,01	1,07	434782,61	46,92	247,35	46,92
Parede núcleo 2	8φ20+φ12//0,15	-	34,93	1,75	0,20	0,01	1,00	434782,61	200,81	41,22	200,81
Parede núcleo 3	φ20//0,075+10φ20+φ20//0,15+ φ10//0,15	-	184,86	0,20	5,25	0,02	1,76	434782,61	139,13	1511,37	139,13
Parede núcleo 4	16φ20+φ12//0,15	-	69,98	2,15	0,20	0,02	1,63	434782,61	387,58	68,46	387,58
									1920,63	2841,06	

$V_{F,i} = 1.24 \left(\frac{b_i h_i^2 \rho_{L,i} f_{yt}}{L_{v,i}} \right)^{0.73}$ Cálculo de $V_{F,i}$											
L - Vão livre do elemento vertical [m]											3,5
Elementos verticais	Armadura de reforço	Armadura existente (Antes da reabilitação)	Área de aço total (cm ²)	L _x (m)	L _y (m)	ρ	ρ (%)	f _{yt} (KPa)	V _{F,x} (KN)	V _{F,y} (KN)	V _{F,i} (KN)
Piso 3											
PB'6	4φ25+4φ16	-	27,67	0,50	0,25	0,02	2,21	434782,61	67,89	40,93	67,89
PB'7	4φ25+4φ16	-	27,67	0,50	0,25	0,02	2,21	434782,61	67,89	40,93	67,89
PB'5	4φ25+6φ16	-	31,69	0,50	0,25	0,03	2,54	434782,61	74,95	45,19	74,95
PB'8	4φ25+2φ20+4φ16	-	33,95	0,50	0,25	0,03	2,72	434782,61	78,82	47,52	78,82
P31	8φ16	10φ 20 +6 φ12	54,29	0,60	1,00	0,01	0,90	289855,07	94,34	136,98	94,34
P37	4φ25+4φ16	8 φ20+4 φ12	57,32	0,60	0,60	0,02	1,59	289855,07	98,16	98,16	98,16
P47	8φ16	8φ16+8 φ12	41,21	0,60	0,60	0,01	1,14	289855,07	77,15	77,15	77,15
P33	8φ16	4φ16+8φ12	33,17	0,60	1,00	0,01	0,55	289855,07	65,84	95,60	65,84
P29	10φ25+4φ16	4φ 20 +6φ 16	81,76	0,40	0,70	0,03	2,92	289855,07	94,62	142,36	94,62
P38	-	8φ16+4φ12	20,60	0,40	0,40	0,01	1,29	289855,07	34,59	34,59	34,59
P39	-	6φ16+2φ12	14,32	0,60	0,60	0,00	0,40	289855,07	35,66	35,66	35,66
P40	-	6φ25+4φ20	42,02	0,40	0,40	0,03	2,63	289855,07	58,20	58,20	58,20
P41	-	6φ16+2φ12	14,32	0,40	0,40	0,01	0,90	289855,07	26,53	26,53	26,53
P42	-	4φ25+4φ16	27,67	0,60	0,60	0,01	0,77	289855,07	57,68	57,68	57,68
P46	-	4φ16+2φ12	10,30	0,40	0,60	0,00	0,43	289855,07	20,85	28,04	20,85
P68	-	4φ16+4φ12	12,56	0,30	0,30	0,01	1,40	289855,07	19,54	19,54	19,54
P53	-	4φ16+4φ12	12,56	0,40	0,30	0,01	1,05	289855,07	24,10	19,54	24,10
Parede núcleo 1	8φ20+φ12//0,15	-	41,70	0,20	1,95	0,01	1,07	434782,61	46,92	247,35	46,92
Parede núcleo 2	8φ20+φ12//0,15	-	34,93	1,75	0,20	0,01	1,00	434782,61	200,81	41,22	200,81
Parede núcleo 3	φ20//0,075+10φ20+φ20//0,15+ φ10//0,15	-	184,86	0,20	5,25	0,02	1,76	434782,61	139,13	1511,37	139,13
Parede núcleo 4	16φ20+φ12//0,15	-	69,98	2,15	0,20	0,02	1,63	434782,61	387,58	68,46	387,58
									1771,24	2873,00	

$V_{F,i} = 1.24 \left(\frac{b_i h_i^2 \rho_{i,l} f_{yl}}{L_{v,i}} \right)^{0.73}$ Cálculo de $V_{F,i}$ L - Vão livre do elemento vertical [m] 3,5											
Elementos verticais	Armadura de reforço	Armadura existente (Antes da reabilitação)	Área de aço total (cm ²)	L _x (m)	L _y (m)	ρ	ρ (%)	f _{yl} (KPa)	V _{F,x} (KN)	V _{F,y} (KN)	V _{F,i} (KN)
Cobertura											
PB' 6	4φ25+4φ16		27,67	0,50	0,25	0,02	2,21	434782,61	67,89	40,93	67,89
PB'7	4φ25+4φ16		27,67	0,50	0,25	0,02	2,21	434782,61	67,89	40,93	67,89
PB'5	4φ22+2φ16+4φ12		23,75	0,40	0,25	0,02	2,38	434782,61	51,59	36,61	51,59
PB'8	2φ25+2φ20+4φ16		33,95	0,50	0,25	0,03	2,72	434782,61	78,82	47,52	78,82
P31	nem cinta tem , nem arm	4 φ 16 + 8φ 12	17,09	0,60	1,00	0,00	0,28	289855,07	40,58	58,91	40,58
P37	4φ25+4φ16	4φ 16+ 4φ 12	40,23	0,60	0,60	0,01	1,12	289855,07	75,80	75,80	75,80
P47	so tem cinta	4φ 16+ 4φ 12	12,56	0,60	0,60	0,00	0,35	289855,07	32,41	32,41	32,41
P33	nem cinta tem nem arm	4φ16+8φ12	17,09	0,60	1,00	0,00	0,28	289855,07	40,58	58,91	40,58
P29	10φ25+4φ16	8φ16	73,21	0,40	0,70	0,03	2,61	289855,07	87,29	131,33	87,29
P38	-	4φ16+4φ12	12,56	0,60	0,60	0,00	0,35	289855,07	32,41	32,41	32,41
P39	-	4φ 16+4 φ12	12,56	0,60	0,60	0,00	0,35	289855,07	32,41	32,41	32,41
P40	-	4φ16+4φ12	12,56	0,40	0,40	0,01	0,79	289855,07	24,10	24,10	24,10
P41	-	4φ16+4φ12	12,56	0,40	0,40	0,01	0,79	289855,07	24,10	24,10	24,10
P42	-	4φ16+4φ12	12,56	0,60	0,60	0,00	0,35	289855,07	32,41	32,41	32,41
P46	-	6φ12	6,79	0,40	0,60	0,00	0,28	289855,07	15,38	20,68	15,38
P68	-	6φ12	6,79	0,30	0,30	0,01	0,75	289855,07	12,47	12,47	12,47
P53	-	8φ12	6,79	0,40	0,30	0,01	0,57	362318,84	18,11	14,68	18,11
Parede núcleo 1	16φ16+φ10//0,15	-	43,75	0,20	1,95	0,01	1,12	434782,61	48,59	256,14	48,59
Parede núcleo 2	8φ16+φ10//0,15	-	24,81	1,75	0,20	0,01	0,71	434782,61	156,46	32,12	156,46
Parede núcleo 3	12φ16+10φ//0,15+10φ16+ φ10//0,15 em 0,9	-	85,22	0,20	5,25	0,01	0,81	434782,61	79,05	858,74	79,05
Parede núcleo 4	16φ20+φ10//0,15	-	45,96	2,15	0,20	0,01	1,07	434782,61	285,15	50,37	285,15
									1303,47	1913,98	

EST.SIS.001 - Relatório de vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes

4 - Avaliação de segurança de acordo com o método expedito II

II - Cálculo de $V_{c,i}$ de cada piso $V_{c,i} = 0.87 A_{c,i} \left(\tau_c \left[1 - 0.16 \min \left(5, \frac{L_{v,i}}{h_i} \right) \right] + \rho_{w,i} f_{yw} \right)$

Nota 1: Visto o h_i estar definido no livro do LNEC como h_i – Dimensão da secção transversal na direção de carga a considerar, a direção mais condicionante seria a direção a x, uma vez que na fórmula para a determinação da resistência para forças horizontais associada ao mecanismo de corte, a parcela associada ao h_i está em denominador, logo quanto maior o h_i a considerar, menor será o $V_{c,i}$ e portanto mais no lado da segurança estamos do cálculo. Por isso, consideramos a direção x a mais desfavorável, visto que é nesta direção que existem maiores valores do lado da secção transversal pilares

Nota 2: O valor a considerar na tensão de corte foi de 0,24 Mpa, o mesmo considerado no livro do LNEC, uma vez que este assume os limites máximos admissíveis descritos no artigo de "Reforço e estruturas de betão armado por encamisamento das secções", por Augusto Gomes e Júlio Appleton. Através da fórmula demonstrada, chegou-se à conclusão que o limite máximo do valor da tensão de corte seria de aproximadamente 0,84 MPa, sendo que o valor para o f_{ctm} usado foi o valor característico da tensão de rotura à tração do betão inicial (B25), o que equivale a um f_{ctm} de 1,9MPa, retirado do REBAP, visto que assume um valor menor ao do material de betão C30 a adicionar na reabilitação.

$$\tau_{max} \leq \frac{1}{\gamma_c} \frac{2}{3} f_{ctm}$$

Nota 3: Percentagem de armaduras transversais paralelas à direção x de carregamento (S_h = espaçamento dos estribos)

$$\rho_{sx} = A_{sx} / b_w s_h$$

Cálculo de V_{c_j} - PISO1																	$L_v (m) = 5$ $\tau_c = 0,24$ $f_{yw} (Kpa)$ - Novo - 434783 $f_{yw} (Kpa)$ - Exist. - 289855		
Elementos verticais	Novos					Existestes					L_x (m)	L_y (m)	b_{wx} (m)	b_{wy} (m)	ρ_{wx} (%)	ρ_{wy} (%)	$V_{c,x}$ (KN)	$V_{c,y}$ (KN)	$V_{c,i}$ (KN)
	ϕw (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)	ϕw (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)									
PB' 6	8	0,5	2	4	0,15						0,75	0,25	0,25	0,75	0,27	0,18	209,80	135,50	135,50
PB'7	8	0,5	2	4	0,15						0,75	0,25	0,25	0,75	0,27	0,18	209,80	135,50	135,50
PB'5	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90
PB'8	8	0,5	2	4	0,15						0,75	0,25	0,25	0,75	0,27	0,18	209,80	135,50	135,50
P31	8	0,5	4	4	0,15	6	0,28	4	4	0,15	0,60	1,00	1,00	0,60	0,20	0,34	495,70	846,80	846,80
P37	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60
P47	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60
P33	8	0,5	4	4	0,15	6	0,28	4	4	0,20	0,60	1,00	1,00	0,60	0,19	0,31	473,00	778,70	778,70
P29	8	0,5	4	2	0,15	8	0,5	3	2	0,25	0,40	0,80	0,80	0,40	0,25	0,27	316,00	360,20	360,20
P38						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,09	0,09	61,20	61,20	61,20
P39	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60
P40						8	0,50	2	2	0,25	0,40	0,40	0,40	0,40	0,10	0,10	67,20	67,20	67,20
P41						8	0,50	2	2	0,25	0,40	0,40	0,40	0,40	0,10	0,10	67,20	67,20	67,20
P42	8	0,5	2	2	0,15	8	0,50	2	2	0,25	0,60	0,60	0,60	0,60	0,18	0,18	270,20	270,20	270,20
P46	8	0,5	4	2	0,15	8	0,5	3	2	0,25	0,40	0,80	0,80	0,40	0,25	0,27	316,00	360,20	360,20
P68						6	0,28	2	2	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,09	0,09	34,40	34,40	34,40
P53						6	0,28	2	2	0,20	0,40	0,30	0,30	0,40	0,09	0,07	45,90	36,80	36,80
Parede 1	10	0,79	6	2	0,15						0,20	1,95	1,95	0,20	0,16	0,53	252,30	846,60	846,60
Parede 2	10	0,79	2	4	0,15						1,75	0,20	0,20	1,75	0,53	0,12	758,00	173,50	173,50
Parede 3	10	0,79	18	2	0,15						0,20	5,25	5,25	0,20	0,18	0,53	758,80	2307,60	2307,60
Parede 4	10	0,79	2	6	0,15						2,15	0,20	0,20	2,15	0,53	0,15	935,10	261,90	261,90
Muro existente reto						10	0,28	2	2	0,15	20,75	0,20	0,20	20,75	0,19	0,00	3832,40	173,30	173,30
Muro existente curvo 1						10	0,28	2	2	0,15	6,20	0,25	0,25	6,20	0,15	0,01	1183,00	123,40	123,40
Muro exist reto no pilar 40						10	0,28	2	2	0,15	0,19	0,97	0,97	0,19	0,04	0,20	34,60	157,40	157,40
muro exist reto no pilar PE						10	0,28	2	2	0,15	1,25	0,19	0,19	1,25	0,20	0,03	207,20	35,80	35,80
Muro existente curvo 2						10	0,28	2	2	0,15	0,25	7,30	7,30	0,25	0,01	0,15	145,20	1395,70	1395,70
																	11785,50	9667,30	

Cálculo de $V_{c,i}$ - PISO2																			L_v (m) = 4		
																			$\tau_c = 0,24$		
																			f_{yw} (Kpa) - Novo - 434783		
																			f_{yw} (Kpa) - Exist. - 289855		
Elementos verticais	Novos					Existestes					L_x	L_y	b_{wx}	b_{wy}	ρ_{wx}	ρ_{wy}	$V_{c,x}$	$V_{c,y}$	$V_{c,i}$		
	ϕ_w (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)	ϕ_w (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)										(m)	(m)
PB' 6	8	0,5	2	4	0,15						0,75	0,25	0,25	0,75	0,27	0,18	209,80	135,50	209,80		
PB'7	8	0,5	2	4	0,15						0,75	0,25	0,25	0,75	0,27	0,18	209,80	135,50	209,80		
PB'5	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90		
PB'8	8	0,5	2	4	0,15						0,75	0,25	0,25	0,75	0,27	0,18	209,80	135,50	209,80		
P31	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	4	4	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,23	0,23	338,30	338,30	338,30		
P37	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60		
P47	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60		
P33	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	4	4	0,20	0,60	0,60	0,60	0,60	0,20	0,20	297,40	297,40	297,40		
P29	8	0,5	4	2	0,15	8	0,5	3	2	0,25	0,40	0,80	0,80	0,40	0,25	0,27	316,00	360,20	316,00		
P38						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,09	0,09	61,20	61,20	61,20		
P39	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60		
P40						8	0,50	2	2	0,25	0,40	0,40	0,40	0,40	0,10	0,10	67,20	67,20	67,20		
P41						8	0,50	2	2	0,25	0,40	0,40	0,40	0,40	0,10	0,10	67,20	67,20	67,20		
P42	8	0,5	2	2	0,15	8	0,50	2	2	0,25	0,60	0,60	0,60	0,60	0,18	0,18	270,20	270,20	270,20		
P46	8	0,5	2	2	0,15	8	0,5	3	2	0,25	0,40	0,60	0,60	0,40	0,21	0,27	200,70	261,80	200,70		
P68						6	0,28	2	2	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,09	0,09	34,40	34,40	34,40		
P53						6	0,28	2	2	0,20	0,40	0,30	0,30	0,40	0,09	0,07	45,90	36,80	45,90		
Parede 1	10	0,79	6	2	0,15						0,20	1,95	1,95	0,20	0,16	0,53	252,30	846,60	252,30		
Parede 2	10	0,79	2	4	0,15						1,75	0,20	0,20	1,75	0,53	0,12	758,00	173,50	758,00		
Parede 3	10	0,79	18	2	0,15						0,20	5,25	5,25	0,20	0,18	0,53	758,80	2307,60	758,80		
Parede 4	10	0,79	2	6	0,15						2,15	0,20	0,20	2,15	0,53	0,15	935,10	261,90	935,10		
																	5934,80	6693,50			

Cálculo de $V_{c,j}$ - PISO3																	L_v (m) = 3,5 τ_c = 0,24 f_{yw} (Kpa) - Novo - 434783 f_{yw} (Kpa) - Exist. - 289855			
Elementos verticais	Novos					Existestes					L_x (m)	L_y (m)	b_{wx} (m)	b_{wy} (m)	ρ_{wx} (%)	ρ_{wy} (%)	$V_{c,x}$ (KN)	$V_{c,y}$ (m)	$V_{c,i}$ (KN)	
	ϕw (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)	ϕw (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)										
PB' 6	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90	
PB'7	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90	
PB'5	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90	
PB'8	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90	
P31	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	4	4	0,15	0,60	1,00	1,00	0,60	0,14	0,23	359,50	597,20	359,50	
P37	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60	
P47	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60	
P33						6	0,28	4	4	0,15	0,60	1,00	1,00	0,60	0,07	0,12	200,60	347,50	200,60	
P29	8	0,5	4	2	0,15	6	0,28	4	2	0,20	0,40	0,70	0,70	0,40	0,27	0,24	297,70	279,20	297,70	
P38						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,09	0,09	61,20	61,20	61,20	
P39	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60	
P40						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,09	0,09	61,20	61,20	61,20	
P41						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,09	0,09	61,20	61,20	61,20	
P42	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60	
P46	8	0,5	4	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,60	0,60	0,40	0,28	0,26	264,20	252,70	264,20	
P68						6	0,28	2	2	0,15	0,30	0,30	0,30	0,30	0,12	0,12	44,60	44,60	44,60	
P53						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,30	0,30	0,40	0,12	0,09	59,50	45,90	59,50	
Parede 1	10	0,79	6	2	0,15						0,20	1,95	1,95	0,20	0,16	0,53	252,30	846,60	252,30	
Parede 2	10	0,79	2	4	0,15						1,75	0,20	0,20	1,75	0,53	0,12	758,00	173,50	758,00	
Parede 3	10	0,79	18	2	0,15						0,20	5,25	5,25	0,20	0,18	0,53	758,80	2307,60	758,80	
Parede 4	10	0,79	2	6	0,15						2,15	0,20	0,20	2,15	0,53	0,15	935,10	261,90	935,10	
																	5671,90	6898,30		

Cálculo de $V_{c,i}$ - COBERTURA																	L_v (m) = 3,5 τ_c = 0,24 f_{yw} (Kpa) - Novo - 434783 f_{yw} (Kpa) - Exist. - 289855			
Elementos verticais	Novos					Existestes					L_x	L_y	b_{wx}	b_{wy}	ρ_{wx}	ρ_{wy}	$V_{c,x}$	$V_{c,y}$	$V_{c,i}$	
	ϕw (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)	ϕw (mm)	A_{sw} (cm ²)	ramos S_x	ramos S_y	S (m)										(m)
PB' 6	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90	
PB'7	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90	
PB'5	8	0,5	2	2	0,15						0,40	0,25	0,25	0,40	0,27	0,17	106,30	68,50	106,30	
PB'8	8	0,5	2	4	0,15						0,50	0,25	0,25	0,50	0,27	0,27	132,90	132,90	132,90	
P31						6	0,28	4	4	0,15	0,60	1,00	1,00	0,60	0,07	0,12	200,60	347,50	200,60	
P37	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60	
P47	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60	
P33						6	0,28	4	4	0,15	0,60	1,00	1,00	0,60	0,07	0,12	200,60	347,50	200,60	
P29	8	0,5	4	2	0,15	6	0,28	4	2	0,20	0,40	0,70	0,70	0,40	0,27	0,24	297,70	279,20	297,70	
P38						6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,40	0,40	0,09	0,09	147,60	147,60	147,60	
P39	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60	
P40						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,09	0,09	61,20	61,20	61,20	
P41						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,09	0,09	61,20	61,20	61,20	
P42	8	0,5	2	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,60	0,60	0,60	0,60	0,17	0,17	256,60	256,60	256,60	
P46	8	0,5	4	2	0,15	6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,60	0,60	0,40	0,28	0,26	264,20	252,70	264,20	
P68						6	0,28	2	2	0,15	0,30	0,30	0,30	0,30	0,12	0,12	44,60	44,60	44,60	
P53						6	0,28	2	2	0,15	0,40	0,30	0,30	0,40	0,12	0,09	59,50	45,90	59,50	
Parede 1	8	0,5	6	2	0,15						0,20	1,95	1,95	0,20	0,10	0,33	163,80	551,50	163,80	
Parede 2	8	0,5	2	4	0,15						1,75	0,20	0,20	1,75	0,33	0,08	493,30	120,50	493,30	
Parede 3	8	0,5	10	2	0,15						0,20	5,25	5,25	0,20	0,06	0,33	282,20	1513,20	282,20	
Parede 4	8	0,5	2	6	0,15						2,15	0,20	0,20	2,15	0,33	0,09	609,80	164,30	609,80	
																	4417,70	5430,50		

EST.SIS.001 - Relatório de vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes

4 - Avaliação de segurança de acordo com o método expedito II

III - Cálculo de $V_{H,j}$ de cada piso

$$V_{H,j} = \sum_{i=1}^n \min(V_{F,i}, V_{C,i})$$

Elemento Vertical	Piso 1			Piso 2			Piso 3			Cobertura		
	$V_{F,i}$ (KN)	$V_{C,i}$ (KN)	$V_{H,i}$ (KN)	$V_{F,i}$ (KN)	$V_{C,i}$ (KN)	$V_{H,i}$ (KN)	$V_{F,i}$ (KN)	$V_{C,i}$ (KN)	$V_{H,i}$ (KN)	$V_{F,i}$ (KN)	$V_{C,i}$ (KN)	$V_{H,i}$ (KN)
PB' 6	74,55	135,50	74,55	117,85	209,80	117,85	67,89	132,90	67,89	67,89	132,90	67,89
PB'7	74,55	135,50	74,55	117,85	209,80	117,85	67,89	132,90	67,89	67,89	132,90	67,89
PB'5	44,95	132,90	44,95	74,95	132,90	74,95	74,95	132,90	74,95	51,59	68,50	51,59
PB'8	62,63	135,50	62,63	139,67	209,80	139,67	78,82	132,90	78,82	78,82	132,90	78,82
P31	267,25	846,80	267,25	94,34	338,30	94,34	94,34	359,50	94,34	40,58	347,50	40,58
P37	98,16	256,60	98,16	83,24	256,60	83,24	98,16	256,60	98,16	75,80	256,60	75,80
P47	38,81	256,60	38,81	83,24	256,60	83,24	77,15	256,60	77,15	32,41	256,60	32,41
P33	246,24	778,70	246,24	65,84	297,40	65,84	65,84	200,60	65,84	40,58	347,50	40,58
P29	139,68	360,20	139,68	92,06	316,00	92,06	94,62	297,70	94,62	87,29	279,20	87,29
P38	38,82	61,20	38,82	34,59	61,20	34,59	34,59	61,20	34,59	32,41	147,60	32,41
P39	46,50	256,60	46,50	35,66	256,60	35,66	35,66	256,60	35,66	32,41	256,60	32,41
P40	58,20	67,20	58,20	58,20	67,20	58,20	58,20	61,20	58,20	24,10	61,20	24,10
P41	47,92	67,20	47,92	26,53	67,20	26,53	26,53	61,20	26,53	24,10	61,20	24,10
P42	64,43	270,20	64,43	57,68	270,20	57,68	57,68	256,60	57,68	32,41	256,60	32,41
P46	61,92	360,20	61,92	20,85	200,70	20,85	20,85	264,20	20,85	15,38	252,70	15,38
P68	28,05	34,40	28,05	19,54	34,40	19,54	19,54	44,60	19,54	12,47	44,60	12,47
P53	28,05	36,80	28,05	24,10	45,90	24,10	24,10	59,50	24,10	18,11	45,90	18,11
Parede 1	395,83	846,60	395,83	46,92	252,30	46,92	46,92	252,30	46,92	48,59	551,50	48,59
Parede 2	67,45	173,50	67,45	200,81	758,00	200,81	200,81	758,00	200,81	156,46	120,50	120,50
Parede 3	1 534,13	2307,60	1 534,13	139,13	758,80	139,13	139,13	758,80	139,13	79,05	1 513,20	79,05
Parede 4	100,31	261,90	100,31	387,58	935,10	387,58	387,58	935,10	387,58	285,15	164,30	164,30
Muro existente reto	116,94	173,30	116,94									
Muro existente curvo 1	57,01	123,40	57,01									
Muro exist reto no pilar 40	11,79	157,40	11,79									
muro exist reto no pilar PE	14,18	35,80	14,18									
Muro existente curvo 2	64,20	1395,70	64,20									
			3 782,58				1 920,63				1 771,24	1 146,66

EST.SIS.001 - Relatório de vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes

4 - Avaliação de segurança de acordo com o método expedito II

IV - Cálculo do peso total do edifício

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$$

Nota 1: A partir da norma NP EN 1991-1, determinou-se a categoria de utilização do edifício em estudo - Categoria A - Logo os valores usados em ψ_2 e ϕ são 0,3 e 0,8, respetivamente. $\psi_{E,m}$ toma o valor de 0,24 nos pisos 1, 2 e 3, enquanto que na cobertura o coef. toma o valor de 0,3.

$$\psi_{E,i} = \phi \cdot \psi_{2i}$$

ψ_2 - Coeficiente de combinação para o valor quase permanente da ação variável.

$$W_E = \sum_{j=1}^n (w_{E,j} A_{s,j})$$

$W_{E,j}$ - Peso por unidade de área, resultante da combinação sísmica de ações [KN/m²]

Piso	$G_{k,i}$ [KN/m ²]	$\psi_{E,i}$	$Q_{k,i}$ [KN/m ²]	$A_{s,i}$ [KN/m ²]	$W_{E,i}$ [KN/m ²]	W_E [KN]
Piso 1	9,45	0,24	2	291,483	9,93	2894,43
Piso 2	8,7	0,24	2	291,483	9,18	2675,81
Piso 3	9,45	0,24	2	291,483	9,93	2894,43
Cobertura	9,25	0,3	2	300,483	9,85	2959,76

V - Cálculo dos coeficientes sísmicos do edifício

$$CS_{c,j} = \frac{V_{H,j}}{W_E}$$

CS _{c,j} - Coeficiente sísmico do edifício			
Piso	$V_{H,j}$ [KN]	W_E [KN]	$CS_{c,j}$
Piso 1	3782,58	2894,43	1,31
Piso 2	1920,63	2675,81	0,72
Piso 3	1771,24	2894,43	0,61
Cobertura	1146,66	2959,76	0,39

$$CS_{E,j} = \eta_j CS_{c,j}$$

Ação sísmica Tipo 1 (afastada) - Zona Sísmica 1.3

Ação sísmica Tipo 2 (próximo) - Zona Sísmica 2.3

Terreno tipo C

CS _{E,j} - Coeficiente sísmico exigido				
Piso	η_j	CS_E Tipo 1	CS_E Tipo 2	$CS_{E,j}$ Tipo 1
Piso 1	1	0,19	0,07	0,19
Piso 2	0,9			0,17
Piso 3	0,7			0,13
Cobertura	0,4			0,08

Piso	$CS_{c,j}$	$CS_{E,j}$
Piso 1	1,31	0,19
Piso 2	0,72	0,17
Piso 3	0,61	0,13
Cobertura	0,39	0,08

$$CS_{c,j} \geq CS_{E,j}$$

O.K.
O.K.
O.K.
O.K.

VERIFICA A SEGURANÇA PELO MÉTODO EXPEDITO II

EST.SIS.001 - Relatório de vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes

3 - Avaliação de segurança de acordo com o método expedito I

$$A_{PC,j} \geq A_{PE,j}$$

$A_{PE,j}$ - Percentagem de área de pilares exigida no piso

$A_{PC,j}$ - Percentagem de área de pilares existentes no piso

$$A_{PE} = \frac{CS_E n W_E}{\tau_{MI}}$$

n - número de pisos do edifício

CS_E - Coeficiente sísmico exigido - Tabela 5.4 do Relatório 81/2019 do LNEC [Valor calculado na Folha 3 - Avaliação pelo método II]

W_E - Peso por metro quadrado para a combinação sísmica de ações

τ_{MI} - Tensão de corte equivalente

$$\tau_{MI,i} = \frac{\min(V_{F,i}, V_{C,i})}{A_{P,i}}$$

$V_{F,i}$ - Resistência considerando mecanismos de flexão [Valor calculado na Folha 3.1 - Avaliação pelo método II]

$V_{C,i}$ - Resistência considerando mecanismos de corte [Valor calculado na Folha 3.2 - Avaliação pelo método II]

$A_{P,i}$ - Percentagem de área de todos os elementos verticais de um piso

Cálculo do $A_{p,i}$ - Percentagem de área de todos os elementos verticais no piso

Piso	$\sum A_{pi}$	A_{pi}	$A_{p,j}$
Piso 1	14,81	291,483	5,082
Piso 2	6,32	291,483	2,167
Piso 3	6,57	291,483	2,254
Cobertura	6,75	300,483	2,245

Cálculo do $A_{PE,j}$ - Percentagem de área de pilares exigida no piso

Piso	$A_{PE,1}$	η	$A_{PE,j}$
Piso 1	2,5	1	2,500
Piso 2		0,9	2,250
Piso 3		0,7	1,750
Cobertura		0,4	1,000

Verificação de segurança

Piso	$100\% \cdot A_{PE,j}$	$A_{PC,j}$	Verificação
Piso 1	2,50	5,082	O.K
Piso 2	2,25	2,167	K.O
Piso 3	1,75	2,254	O.K
Cobertura	1,00	2,245	O.K

$$A_{PC,j} \geq A_{PE,j}$$

Quadro resumo da verificação de segurança para 90% de combinação sísmica de ações

Piso	$90\% \cdot A_{PE,j}$	$A_{PC,j}$	Verificação
Piso 1	2,380	5,082	O.K
Piso 2	1,69	2,167	O.K
Piso 3	1,50	2,254	O.K
Cobertura	1,16	2,245	O.K

Verificação da segurança para 90% de combinação sísmica de ações

PISO 1

- Peso próprio da laje	6,25	KN/m ²
- Peso próprio dos revestimentos	0,5	KN/m ²
- Peso das paredes divisórias	0,7	KN/m ²
- Peso próprio de vigas e pilares	2	KN/m ²
- Sobrecarga c/coefic $\Psi_{E,i}$	0,48	KN/m ²
	9,93	KN/m ³

n =	4
$CS_E =$	0,19
$W_E =$	9,93
$A_{p,i} =$	291,483 m ²

Elementos verticais	$V_{F,i}$	$V_{C,i}$	$\min(V_{C,i}, V_{C,i})$	L_x (m)	L_v (m)	A_i (m ²)	$A_{p,i}$ (m ²)	$\tau_{M,i}$ (KPa)	τ_{MI} (KPa)	$A_{PE,i}$ (%)	$A_{PC,i}$ (%)
PB'6	74,55	135,50	74,55	0,75	0,25	0,19	14,81	397,63	317,08	2,380	5,082
PB'7	74,55	135,50	74,55	0,75	0,25	0,19		397,63			
PB'5	44,95	132,90	44,95	0,50	0,25	0,13		359,60			
PB'8	62,63	135,50	62,63	0,75	0,25	0,19		334,04			
P31	267,25	846,80	267,25	0,60	1,00	0,60		445,41			
P37	98,16	256,60	98,16	0,60	0,60	0,36		272,66			
P47	38,81	256,60	38,81	0,60	0,60	0,36		107,81			
P33	246,24	778,70	246,24	0,60	1,00	0,60		410,39			
P29	139,68	360,20	139,68	0,40	0,80	0,32		436,50			
P38	38,82	61,20	38,82	0,40	0,40	0,16		242,64			
P39	46,50	256,60	46,50	0,60	0,60	0,36		129,18			
P40	58,20	67,20	58,20	0,40	0,40	0,16		363,77			
P41	47,92	67,20	47,92	0,40	0,40	0,16		299,53			
P42	64,43	270,20	64,43	0,60	0,60	0,36		178,98			
P46	61,92	360,20	61,92	0,40	0,80	0,32		193,50			
P68	28,05	34,40	28,05	0,30	0,30	0,09		311,64			
P53	28,05	36,80	28,05	0,40	0,30	0,12		233,73			
Parede nucleo 1	395,83	846,60	395,83	0,20	1,95	0,39		1014,96			
Parede nucleo 2	67,45	173,50	67,45	1,75	0,20	0,35		192,71			
Parede nucleo 3	1534,13	2307,60	1534,13	0,20	5,25	1,05		1461,08			
Parede nucleo 4	100,31	261,90	100,31	2,15	0,20	0,43		233,28			
Muro existente reto	116,94	173,30	116,94	20,75	0,20	4,15		28,18			
Muro existente curvo 1	57,01	123,40	57,01	6,20	0,25	1,55		36,76			
Muro exist reto no pilar 40	11,79	157,40	11,79	0,19	0,97	0,18		65,84			
muro exist reto no pilar PE	14,18	35,80	14,18	1,25	0,19	0,23		61,49			
Muro existente curvo 2	64,20	1395,70	64,20	0,25	7,30	1,83		35,18			

O.K.

PISO2

- Peso próprio da laje	5,5	KN/m ²
- Peso próprio dos revestimentos	0,5	KN/m ²
- Peso das paredes divisórias	0,7	KN/m ²
- Peso próprio de vigas e pilares	2	KN/m ²
- Sobrecarga c/coefic $\Psi_{E,i}$	0,48	KN/m ²
	8,262	KN/m ²

n =	4
$CS_E =$	0,19
$W_E =$	8,262
$A_{p,i} =$	291,483 m ²

Elementos verticais	$V_{F,i}$	$V_{C,i}$	$\min(V_{C,i}, V_{C,j})$	L_x (m)	L_y (m)	A_i (m ²)	$A_{p,i}$ (m ²)	$\tau_{MI,i}$ (KPa)	τ_{MI} (KPa)
PB'6	117,85	209,80	117,85	0,75	0,25	0,19	6,32	628,52	334,97
PB'7	117,85	209,80	117,85	0,75	0,25	0,19		628,52	
PB'5	74,95	132,90	74,95	0,50	0,25	0,13		599,62	
PB'8	139,67	209,80	139,67	0,75	0,25	0,19		744,91	
P31	94,34	338,30	94,34	0,60	0,60	0,36		262,07	
P37	83,24	256,60	83,24	0,60	0,60	0,36		231,21	
P47	83,24	256,60	83,24	0,60	0,60	0,36		231,21	
P33	65,84	297,40	65,84	0,60	0,60	0,36		182,90	
P29	92,06	316,00	92,06	0,40	0,80	0,32		287,70	
P38	34,59	61,20	34,59	0,40	0,40	0,16		216,18	
P39	35,66	256,60	35,66	0,60	0,60	0,36		99,06	
P40	58,20	67,20	58,20	0,40	0,40	0,16		363,77	
P41	26,53	67,20	26,53	0,40	0,40	0,16		165,78	
P42	57,68	270,20	57,68	0,60	0,60	0,36		160,23	
P46	20,85	200,70	20,85	0,40	0,60	0,24		86,89	
P68	19,54	34,40	19,54	0,30	0,30	0,09		217,09	
P53	24,10	45,90	24,10	0,40	0,30	0,12		200,86	
Parede núcleo 1	46,92	252,30	46,92	0,20	1,95	0,39		120,30	
Parede núcleo 2	200,81	758,00	200,81	1,75	0,20	0,35		573,73	
Parede núcleo 3	139,13	758,80	139,13	0,20	5,25	1,05		132,50	
Parede núcleo 4	387,58	935,10	387,58	2,15	0,20	0,43		901,35	

$A_{PE,i}$ (%)	$A_{PC,i}$ (%)
1,687	2,167

O.K.

PISO3

- Peso próprio da laje	6,25	KN/m ²
- Peso próprio dos revestimentos	0,5	KN/m ²
- Peso das paredes divisórias	0,7	KN/m ²
- Peso próprio de vigas e pilares	2	KN/m ²
- Sobrecarga c/coefic $\Psi_{E,i}$	0,48	KN/m ²
	8,937	KN/m ²

n =	4
$CS_E =$	0,19
$W_E =$	8,937
$A_{p,i} =$	291,483 m ²

Elementos verticais	$V_{F,i}$	$V_{C,i}$	$\min(V_{C,i}, V_{C,l})$	L_x (m)	L_v (m)	A_i (m ²)	$A_{p,i}$ (m ²)	$\tau_{MI,i}$ (KPa)	τ_{MI} (KPa)	$A_{PE,i}$ (%)	$A_{PC,i}$ (%)
PB'6	67,89	132,90	67,89	0,50	0,25	0,13	6,57	543,09	316,47	1,502	2,254
PB'7	67,89	132,90	67,89	0,50	0,25	0,13		543,09			
PB'5	74,95	132,90	74,95	0,50	0,25	0,13		599,62			
PB'8	78,82	132,90	78,82	0,50	0,25	0,13		630,54			
P31	94,34	359,50	94,34	0,60	1,00	0,60		157,24			
P37	98,16	256,60	98,16	0,60	0,60	0,36		272,66			
P47	77,15	256,60	77,15	0,60	0,60	0,36		214,30			
P33	65,84	200,60	65,84	0,60	1,00	0,60		109,74			
P29	94,62	297,70	94,62	0,40	0,70	0,28		337,92			
P38	34,59	61,20	34,59	0,40	0,40	0,16		216,18			
P39	35,66	256,60	35,66	0,60	0,60	0,36		99,06			
P40	58,20	61,20	58,20	0,40	0,40	0,16		363,77			
P41	26,53	61,20	26,53	0,40	0,40	0,16		165,78			
P42	57,68	256,60	57,68	0,60	0,60	0,36		160,23			
P46	20,85	264,20	20,85	0,40	0,60	0,24		86,89			
P68	19,54	44,60	19,54	0,30	0,30	0,09		217,09			
P53	24,10	59,50	24,10	0,40	0,30	0,12		200,86			
Parede núcleo 1	46,92	252,30	46,92	0,20	1,95	0,39		120,30			
Parede núcleo 2	200,81	758,00	200,81	1,75	0,20	0,35		573,73			
Parede núcleo 3	139,13	758,80	139,13	0,20	5,25	1,05		132,50			
Parede núcleo 4	387,58	935,10	387,58	2,15	0,20	0,43		901,35			

O.K.

COBERTURA

- Peso próprio da laje	6,25	KN/m ²
- Peso próprio dos revestimentos	2	KN/m ²
- Peso das paredes divisórias		KN/m ²
- Peso próprio de vigas e pilares	1	KN/m ²
- sobrecarga c/coefic $\Psi_{E,i}$	0,48	KN/m ²
	8,757	KN/m ²

n =	4
$CS_E =$	0,19
$W_E =$	8,757
$A_{p,i} =$	300,483 m ²

Elementos verticais	$V_{F,i}$	$V_{C,i}$	$\min(V_{C,i}, V_{C,i})$	L_x (m)	L_y (m)	A_i (m ²)	$A_{p,i}$ (m ²)	$\tau_{MI,i}$ (KPa)	τ_{MI} (KPa)	$A_{PE,i}$ (%)	$A_{PC,i}$ (%)
PB' 6	67,89	132,90	67,89	0,50	0,25	0,13	6,75	543,09	230,07	1,157	2,245
PB'7	67,89	132,90	67,89	0,50	0,25	0,13		543,09			
PB'5	51,59	68,50	51,59	0,40	0,25	0,10		515,94			
PB'8	78,82	132,90	78,82	0,50	0,25	0,13		630,54			
P31	40,58	347,50	40,58	0,60	1,00	0,60		67,63			
P37	75,80	256,60	75,80	0,60	0,60	0,36		210,57			
P47	32,41	256,60	32,41	0,60	0,60	0,36		90,02			
P33	40,58	347,50	40,58	0,60	1,00	0,60		67,63			
P29	87,29	279,20	87,29	0,40	0,70	0,28		311,75			
P38	32,41	147,60	32,41	0,60	0,60	0,36		90,02			
P39	32,41	256,60	32,41	0,60	0,60	0,36		90,02			
P40	24,10	61,20	24,10	0,40	0,40	0,16		150,65			
P41	24,10	61,20	24,10	0,40	0,40	0,16		150,65			
P42	32,41	256,60	32,41	0,60	0,60	0,36		90,02			
P46	15,38	252,70	15,38	0,40	0,60	0,24		64,10			
P68	12,47	44,60	12,47	0,30	0,30	0,09		138,56			
P53	18,11	45,90	18,11	0,40	0,30	0,12		150,89			
Parede núcleo 1	48,59	551,50	48,59	0,20	1,95	0,39		124,58			
Parede núcleo 2	156,46	120,50	120,50	1,75	0,20	0,35		344,29			
Parede núcleo 3	79,05	1513,20	79,05	0,20	5,25	1,05		75,29			
Parede núcleo 4	285,15	164,30	164,30	2,15	0,20	0,43		382,09			

O.K.

ANEXO D. – RESULTADOS OBTIDOS PELA ANÁLISE PUSHOVER NO SEISMOSTRUCT

Cálculo da capacidade resistente para ação sísmica 1.3, segundo a direção x, considerando H real

COBERTURA

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_5	0,35540696	27,29475	0,01302107	Not reached yet
class_C1_5	62,01843	132,4254	0,46832727	Not reached yet
class_C20_5	25,46504	48,58334	0,52415177	Not reached yet
class_C21_5	32,05003	136,4245	0,23492875	Not reached yet
class_C22_5	72,04513	171,528	0,42001969	Not reached yet
class_C23_5	0,19068889	174,3207	0,0010939	Not reached yet
class_C24_5	1,84455	163,6477	0,01127146	Not reached yet
class_C25_5	9,99543	108,8306	0,09184389	Not reached yet
class_C26_5	14,2264	153,0854	0,09293119	Not reached yet
class_C27_5	14,53582	221,6776	0,06557191	Not reached yet
class_C29_5	22,53459	65,16463	0,34581014	Not reached yet
class_C2_5	81,33981	152,3933	0,5337492	Not reached yet
class_C30_5	20,65314	49,72587	0,41533989	Not reached yet
class_C32_5	67,99876	173,7139	0,39144122	Not reached yet
class_C33_5	4,32911	65,2755	0,06632064	Not reached yet
class_C34_5	21,37901	58,85542	0,36324626	Not reached yet
class_C3_5	50,69048	131,1766	0,38642945	Not reached yet
class_C4_5	6,39258	65,22726	0,09800467	Not reached yet

PISO 3

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_4	5,43546	29,94087	0,18153976	Not reached yet
class_C1_4	95,7752	158,457	0,60442388	Not reached yet
class_C20_4	38,66061	54,72175	0,70649446	Not reached yet
class_C21_4	73,10892	191,3588	0,38205156	Not reached yet
class_C22_4	107,0571	198,1305	0,54033639	Not reached yet
class_C23_4	32,01749	210,8396	0,15185709	Not reached yet
class_C24_4	359,4719	381,7458	0,94165253	Not reached yet
class_C25_4	20,87419	273,2555	0,07639072	Not reached yet
class_C26_4	15,78094	203,1047	0,07769854	Not reached yet
class_C27_4	17,94295	195,9811	0,09155445	Not reached yet
class_C29_4	43,90122	73,22353	0,59955065	Not reached yet
class_C2_4	108,0713	156,4236	0,69088863	Not reached yet
class_C30_4	63,50042	80,60758	0,78777239	Not reached yet
class_C32_4	125,8078	218,4668	0,57586671	Not reached yet
class_C33_4	40,96714	114,1629	0,35884794	Not reached yet
class_C34_4	54,12026	138,8278	0,38983732	Not reached yet
class_C3_4	67,75235	146,8728	0,46129953	Not reached yet
class_C4_4	14,40931	121,639	0,11845966	Not reached yet
class_C4_5	0,00033047	0,03118375	0,01059754	Not reached yet
class_W41	2,00E-05	0,00687415	0,00290959	Not reached yet
class_W39	0,00026967	0,01421957	0,01896459	Not reached yet
class_W37	0,00015872	0,01167388	0,01359654	Not reached yet
class_W38	1,35E-05	0,00452174	0,00298235	Not reached yet

PISO 2

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C21_3	115,7444	269,2838	0,42982328	Not reached yet
class_C22_3	167,5347	257,262	0,65122216	Not reached yet
class_C23_3	225,3234	307,8268	0,7319811	Not reached yet
class_C24_3	364,9985	395,0052	0,92403467	Not reached yet
class_C25_3	18,85467	196,1486	0,09612442	Not reached yet
class_C26_3	16,62588	155,2824	0,10706868	Not reached yet
class_C27_3	18,32622	153,9172	0,11906544	Not reached yet
class_C29_3	70,01391	94,34889	0,74207452	Not reached yet
class_C2_3	362,9785	394,0052	0,92125307	Not reached yet
class_C30_3	71,7093	90,76689	0,79003818	Not reached yet
class_C32_3	190,2765	280,9488	0,67726387	Not reached yet
class_C33_3	66,79978	136,4408	0,48958818	Not reached yet
class_C34_3	80,42476	139,272	0,57746534	Not reached yet
class_C3_3	204,5463	277,5959	0,73684924	Not reached yet
class_C4_3	44,65628	176,4335	0,25310545	Not reached yet

Nota: Lista dos dos pilares nos pisos mais condicionantes

Cálculo da capacidade resistente para ação sísmica 1.3, segundo a direção y, considerando H real

COBERTURA

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_5	5,91127	29,25955	0,20202886	Not reached yet
class_C1_5	16,82354	116,5004	0,14440748	Not reached yet
class_C20_5	13,40877	42,12083	0,31834053	Not reached yet
class_C21_5	15,40382	133,7871	0,11513676	Not reached yet
class_C22_5	0,18754877	133,5974	0,00140384	Not reached yet
class_C23_5	66,3886	170,5795	0,38919445	Not reached yet
class_C24_5	117,8556	220,256	0,5350846	Not reached yet
class_C25_5	4,49E-07	108,8306	4,12E-09	Not reached yet
class_C26_5	4,37E-07	132,9744	3,28E-09	Not reached yet
class_C27_5	3,18E-07	221,6776	1,44E-09	Not reached yet
class_C29_5	11,1676	64,68044	0,17265803	Not reached yet
class_C2_5	11,1659	123,6235	0,09032186	Not reached yet
class_C30_5	4,36762	46,96911	0,09298914	Not reached yet
class_C32_5	9,57946	176,887	0,05415579	Not reached yet
class_C33_5	24,15982	59,21247	0,40801914	Not reached yet
class_C34_5	3,89925	52,10183	0,074839	Not reached yet
class_C3_5	35,78838	128,7117	0,27805079	Not reached yet
class_C4_5	18,6223	88,52863	0,21035345	Not reached yet

PISO 3

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_4	5,43546	29,94087	0,18153976	Not reached yet
class_C1_4	95,7752	158,457	0,60442388	Not reached yet
class_C20_4	38,66061	54,72175	0,70649446	Not reached yet
class_C21_4	73,10892	191,3588	0,38205156	Not reached yet
class_C22_4	107,0571	198,1305	0,54033639	Not reached yet
class_C23_4	32,01749	210,8396	0,15185709	Not reached yet
class_C24_4	359,4719	381,7458	0,94165253	Not reached yet
class_C25_4	20,87419	273,2555	0,07639072	Not reached yet
class_C26_4	15,78094	203,1047	0,07769854	Not reached yet
class_C27_4	17,94295	195,9811	0,09155445	Not reached yet
class_C29_4	43,90122	73,22353	0,59955065	Not reached yet
class_C2_4	108,0713	156,4236	0,69088863	Not reached yet
class_C30_4	63,50042	80,60758	0,78777239	Not reached yet
class_C32_4	125,8078	218,4668	0,57586671	Not reached yet
class_C33_4	40,96714	114,1629	0,35884794	Not reached yet
class_C34_4	54,12026	138,8278	0,38983732	Not reached yet
class_C3_4	67,75235	146,8728	0,46129953	Not reached yet

PISO 3

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_3	7,72877	52,85661	0,14622147	Not reached yet
class_C1_3	142,1978	273,8823	0,51919319	Not reached yet
class_C20_3	23,05875	49,97582	0,46139804	Not reached yet
class_C21_3	55,98319	239,7142	0,23354146	Not reached yet
class_C22_3	111,6272	231,4029	0,4823932	Not reached yet
class_C23_3	13,04673	191,7653	0,0680349	Not reached yet
class_C24_3	2,45005	216,318	0,01132614	Not reached yet
class_C25_3	3,82021	193,7713	0,01971504	Not reached yet
class_C26_3	5,01798	152,6688	0,03286842	Not reached yet
class_C27_3	3,24693	153,5873	0,02114063	Not reached yet
class_C29_3	35,46986	76,32094	0,46474613	Not reached yet
class_C2_3	128,904	246,1283	0,52372683	Not reached yet
class_C30_3	53,69624	89,25151	0,60162839	Not reached yet
class_C30_3	53,69624	97,01523	0,55348264	Not reached yet
class_C32_3	149,4317	274,9632	0,54346082	Not reached yet
class_C33_3	68,09999	128,9035	0,52830209	Not reached yet
class_C33_3	12,39773	125,2428	0,09898955	Not reached yet
class_C34_3	10,36363	100,766	0,10284844	Not reached yet
class_C3_3	149,5481	254,6532	0,58726207	Not reached yet
class_C4_3	72,5383	153,6975	0,47195504	Not reached yet

Nota: Lista dos dos pilares nos pisos mais condicionantes

Cálculo da capacidade resistente para ação sísmica 1.3, segundo a direção x, considerando H fictício

COBERTURA

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status	Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_5	2,09811	27,63601	0,07591925	Not reached yet	class_C13_5	0,00077186	0,02563998	0,03010383	Not reached yet
class_C1_5	60,54484	119,1185	0,50827385	Not reached yet	class_C1_5	0,0003388	0,01756871	0,01928428	Not reached yet
class_C20_5	21,70075	38,6231	0,56185939	Not reached yet	class_C20_5	0,00104348	0,02225634	0,04688444	Not reached yet
class_C21_5	26,29703	135,9692	0,19340431	Not reached yet	class_C21_5	2,94E-05	0,0196253	0,0014973	Not reached yet
class_C22_5	58,26758	164,5575	0,35408646	Not reached yet	class_C22_5	7,93E-06	0,0127418	0,00062203	Not reached yet
class_C23_5	1,61396	177,2764	0,0091042	Not reached yet	class_C23_5	0,00130955	0,03121933	0,0419468	Not reached yet
class_C24_5	42,71391	465,3107	0,09179653	Not reached yet	class_C24_5	1,52E-05	0,02177392	0,00069917	Not reached yet
class_C24_5	8,30448	333,8932	0,02487167	Not reached yet	class_C24_5	0,000279	0,01571452	0,01775405	Not reached yet
class_C25_5	9,81529	99,76448	0,0983846	Not reached yet	class_C25_5	6,78E-08	0,05122882	1,32E-06	Not reached yet
class_C26_5	13,9783	124,9112	0,11190593	Not reached yet	class_C26_5	3,53E-08	0,04389457	8,04E-07	Not reached yet
class_C27_5	14,32828	216,6854	0,06612481	Not reached yet	class_C27_5	3,90E-08	0,05827377	6,69E-07	Not reached yet
class_C29_5	22,04599	50,95006	0,43269798	Not reached yet	class_C29_5	0,00054983	0,02611	0,02105805	Not reached yet
class_C2_5	82,1957	133,416	0,61608586	Not reached yet	class_C2_5	0,00010656	0,01735772	0,00613913	Not reached yet
class_C30_5	21,24838	42,24356	0,50299697	Not reached yet	class_C30_5	0,00013018	0,02143916	0,00607186	Not reached yet
class_C32_5	68,34937	159,6124	0,42822085	Not reached yet	class_C32_5	1,66E-06	0,01678081	9,88E-05	Not reached yet
class_C33_5	2,832	37,33452	0,07585468	Not reached yet	class_C33_5	0,00039976	0,02702625	0,01479168	Not reached yet
class_C34_5	18,08428	49,72774	0,36366579	Not reached yet	class_C34_5	0,00094538	0,02924625	0,03232476	Not reached yet
class_C3_5	52,77421	116,5857	0,45266441	Not reached yet	class_C3_5	0,00032719	0,01894334	0,01727198	Not reached yet
class_C4_5	12,16986	76,92869	0,15819669	Not reached yet	class_C4_5	0,00033047	0,03118375	0,01059754	Not reached yet
class_W41_5	4,45935	155,4118	0,0286938	Not reached yet	class_W41_5	2,00E-05	0,00687415	0,00290959	Not reached yet
class_W39_5	4,10091	145,1163	0,02825949	Not reached yet	class_W39_5	0,00026967	0,01421957	0,01896459	Not reached yet
class_W37_5	0,39116424	74,27131	0,00526669	Not reached yet	class_W37_5	0,00015872	0,01167388	0,01359654	Not reached yet
class_W38_5	8,32726	174,3212	0,04776962	Not reached yet	class_W38_5	1,35E-05	0,00452174	0,00298235	Not reached yet

PISO 3

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status	Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_4	4,04758	29,86721	0,13551908	Not reached yet	class_C13_4	0,00145976	0,02936368	0,04971311	Not reached yet
class_C1_4	102,774	138,0858	0,74427668	Not reached yet	class_C1_4	0,00112754	0,02862651	0,03938809	Not reached yet
class_C20_4	41,08088	47,00296	0,87400628	Not reached yet	class_C20_4	0,00098353	0,02667413	0,03687221	Not reached yet
class_C21_4	38,78013	144,9784	0,26748909	Not reached yet	class_C21_4	3,84E-05	0,02125925	0,00180733	Not reached yet
class_C22_4	118,0487	176,8962	0,66733289	Not reached yet	class_C22_4	0,00020986	0,02142198	0,00979656	Not reached yet
class_C23_4	14,42603	166,9749	0,08639641	Not reached yet	class_C23_4	0,00130977	0,03729127	0,03512272	Not reached yet
class_C24_4	1,59855	189,264	0,00844612	Not reached yet	class_C24_4	0,00242677	0,02527723	0,09600614	Not reached yet
class_C25_4	4,16201	192,2228	0,021652	Not reached yet	class_C25_4	0,00033843	0,01606681	0,02106385	Not reached yet
class_C26_4	0,78586748	178,5532	0,00440131	Not reached yet	class_C26_4	0,00022128	0,01582946	0,01397927	Not reached yet
class_C27_4	4,19798	151,9079	0,02763501	Not reached yet	class_C27_4	0,00012004	0,01503565	0,00798338	Not reached yet
class_C29_4	34,26119	49,30664	0,69485955	Not reached yet	class_C29_4	0,00191126	0,02654567	0,07199884	Not reached yet
class_C2_4	113,8471	135,3795	0,84094783	Not reached yet	class_C2_4	0,0004432	0,03042996	0,01456476	Not reached yet
class_C30_4	35,63292	69,50667	0,51265472	Not reached yet	class_C30_4	0,00084979	0,02955435	0,02875338	Not reached yet
class_C32_4	127,1996	188,0795	0,67630749	Not reached yet	class_C32_4	0,00016978	0,02802279	0,00605847	Not reached yet
class_C33_4	26,49487	48,941	0,54136343	Not reached yet	class_C33_4	0,00045122	0,02492543	0,01810272	Not reached yet
class_C34_4	48,73593	109,3182	0,44581705	Not reached yet	class_C34_4	0,00196305	0,02397815	0,0818683	Not reached yet
class_C3_4	73,778	127,5971	0,57821068	Not reached yet	class_C3_4	0,00133208	0,02750021	0,0484388	Not reached yet
class_C4_4	30,64528	115,7955	0,26465008	Not reached yet	class_C4_4	0,00089386	0,03137932	0,02848577	Not reached yet
class_W38_4	67,2173	250,9347	0,26786772	Not reached yet	class_W38_4	1,87E-05	0,01079309	0,0017338	Not reached yet
class_W37_4	3,5058	116,0896	0,03019908	Not reached yet	class_W39_4	0,00073042	0,01120832	0,06516733	Not reached yet
class_W39_4	0,42560537	297,386	0,00143115	Not reached yet	class_W37_4	0,00110035	0,00827974	0,13289669	Not reached yet
class_W41_4	11,58211	231,4052	0,0500512	Not reached yet	class_W41_4	9,86E-05	0,00195034	0,05055399	Not reached yet

PISO 2

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_3	12,27588	37,04829	0,3313481	Not reached yet
class_C1_3	202,373	246,4419	0,82117933	Not reached yet
class_C20_3	34,36607	37,62908	0,9132848	Not reached yet
class_C21_3	115,941	234,6406	0,49412171	Not reached yet
class_C22_3	134,4748	228,167	0,58936986	Not reached yet
class_C23_3	8,17474	190,8848	0,0428255	Not reached yet
class_C24_3	222,1139	266,856	0,83233617	Not reached yet
class_C25_3	3,42749	192,1851	0,01783432	Not reached yet
class_C26_3	3,01636	178,2966	0,01691766	Not reached yet
class_C27_3	6,82426	152,383	0,04478357	Not reached yet
class_C29_3	53,82433	62,82535	0,85672948	Not reached yet
class_C2_3	214,7279	230,248	0,93259394	Not reached yet
class_C30_3	53,34268	63,4817	0,84028437	Not reached yet
class_C32_3	146,3285	240,9022	0,60741868	Not reached yet
class_C33_3	61,32987	82,04863	0,747482	Not reached yet
class_C34_3	61,99541	84,271	0,73566722	Not reached yet
class_C3_3	210,3801	557,5876	0,37730419	Not reached yet
class_C4_3	49,08137	139,4546	0,35195242	Not reached yet
class_W37_3	0,47575047	115,0742	0,00413429	Not reached yet
class_W39_3	0,80185456	356,085	0,00225186	Not reached yet
class_W38_3	71,3219	272,102	0,26211461	Not reached yet
class_W41_3	12,02925	264,8031	0,04542717	Not reached yet

PISO 1

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_2	4,96854	30,01541	0,16553309	Not reached yet
class_C1_2	41,56768	462,7589	0,08982579	Not reached yet
class_C20_2	10,35497	30,60372	0,33835661	Not reached yet
class_C21_2	55,85717	210,0008	0,2659855	Not reached yet
class_C22_2	18,03213	159,7123	0,11290379	Not reached yet
class_C23_2	33,40908	480,5048	0,06952912	Not reached yet
class_C24_2	116,5993	367,1417	0,31758667	Not reached yet
class_C25_2	27,75619	463,7513	0,05985147	Not reached yet
class_C26_2	25,56861	401,3689	0,06370352	Not reached yet
class_C27_2	10,30033	155,8566	0,06608854	Not reached yet
class_C29_2	5,49724	35,6338	0,15427033	Not reached yet
class_C2_2	53,58593	192,6414	0,2781642	Not reached yet
class_C30_2	8,59084	51,90056	0,16552498	Not reached yet
class_C32_2	34,47426	173,0584	0,19920596	Not reached yet
class_C33_2	9,93432	61,14624	0,16246828	Not reached yet
class_C34_2	16,72532	68,97935	0,24246856	Not reached yet
class_C3_2	30,31486	219,1216	0,13834717	Not reached yet
class_C4_2	5,51263	120,141	0,04588461	Not reached yet
class_W10_2	6,01705	207,5726	0,02898768	Not reached yet
class_W11_2	2,70309	189,4728	0,0142664	Not reached yet
class_W12_2	3,02715	191,0804	0,01584226	Not reached yet
class_W14_2	10,81711	196,4246	0,05507006	Not reached yet
class_W15_2	8,9095	195,7035	0,04552548	Not reached yet
class_W16_2	6,2359	190,5594	0,0327242	Not reached yet
class_W31_2	0,04774347	194,6292	0,0002453	Not reached yet
class_W35_2	5,11565	193,9468	0,02637654	Not reached yet
class_W36_2	14,63815	198,3929	0,07378365	Not reached yet
class_W37_2	0,21511845	124,3971	0,00172929	Not reached yet
class_W38_2	20,10026	287,5215	0,06990871	Not reached yet
class_W39_2	2,90949	335,4668	0,00867295	Not reached yet
class_W40_2	1,83952	239,3818	0,00768445	Not reached yet
class_W5_2	81,02824	253,3255	0,31985821	Not reached yet
class_W6_2	69,30977	250,2617	0,27694914	Not reached yet
class_W7_2	6,71596	207,7298	0,03233025	Not reached yet
class_W8_2	2,00761	193,733	0,01036278	Not reached yet
class_W9_2	1,63651	193,6856	0,00844932	Not reached yet

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_3	0,00151893	0,02914324	0,05211935	Not reached yet
class_C1_3	0,00135994	0,03196609	0,04254324	Not reached yet
class_C20_3	0,00054514	0,02432011	0,02241505	Not reached yet
class_C21_3	0,00017215	0,02910231	0,00591549	Not reached yet
class_C22_3	0,00042738	0,01247201	0,03426683	Not reached yet
class_C23_3	0,00109632	0,01832961	0,0598115	Not reached yet
class_C24_3	0,00066066	0,03369573	0,01960667	Not reached yet
class_C25_3	0,00111845	0,03939648	0,02838958	Not reached yet
class_C26_3	0,00079583	0,04341817	0,01832943	Not reached yet
class_C27_3	0,0003301	0,04075343	0,00809988	Not reached yet
class_C29_3	0,00205108	0,02310644	0,08876653	Not reached yet
class_C2_3	0,00054056	0,02590496	0,02086699	Not reached yet
class_C30_3	2,70E-05	0,02185984	0,00123342	Not reached yet
class_C32_3	0,00031769	0,01282286	0,02477563	Not reached yet
class_C33_3	0,00053825	0,02475837	0,02174031	Not reached yet
class_C34_3	0,00258128	0,020656	0,12496529	Not reached yet
class_C3_3	0,0016375	0,02813788	0,05819557	Not reached yet
class_C4_3	0,00154695	0,0323611	0,04780285	Not reached yet
class_W39	0,00031635	0,00836255	0,03782954	Not reached yet
class_W37	0,00105031	0,00799663	0,13134449	Not reached yet
class_W38	6,32E-05	0,01032527	0,00612052	Not reached yet
class_W41	0,00036509	0,00462847	0,078879	Not reached yet

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_2	0,00013036	0,03764887	0,00346239	Not reached yet
class_C1_2	0,00088268	0,03480551	0,02536037	Not reached yet
class_C20_2	0,001128	0,03348867	0,03368304	Not reached yet
class_C21_2	0,00102724	0,02161914	0,04751512	Not reached yet
class_C22_2	0,00205499	0,0244155	0,08416748	Not reached yet
class_C23_2	0,00480524	0,02986414	0,16090348	Not reached yet
class_C24_2	0,00489877	0,0317257	0,15441013	Not reached yet
class_C25_2	2,47E-05	0,05242332	0,00047058	Not reached yet
class_C26_2	4,23E-05	0,08602314	0,00049174	Not reached yet
class_C27_2	0,0001692	0,04922262	0,00343742	Not reached yet
class_C29_2	0,00020804	0,03132369	0,00664156	Not reached yet
class_C2_2	0,00058384	0,03330654	0,01752944	Not reached yet
class_C30_2	0,00015733	0,03412713	0,00461021	Not reached yet
class_C32_2	0,00042263	0,02567752	0,01645907	Not reached yet
class_C33_2	0,00051731	0,03530492	0,01465252	Not reached yet
class_C34_2	0,0002606	0,03231465	0,00806437	Not reached yet
class_C3_2	0,00171007	0,03625969	0,0471617	Not reached yet
class_C4_2	0,00568506	0,03085669	0,18424059	Not reached yet
class_W10	0,0002837	0,00682116	0,04159103	Not reached yet
class_W11	0,00057405	0,0129659	0,04427397	Not reached yet
class_W12	0,00038461	0,01311977	0,02931558	Not reached yet
class_W14	0,0001834	0,01135448	0,01615256	Not reached yet
class_W15	0,00037147	0,01003978	0,03699969	Not reached yet
class_W16	0,00067236	0,01217428	0,05522757	Not reached yet
class_W31	0,00052108	0,0082079	0,06348465	Not reached yet
class_W35	0,00042805	0,01159778	0,03690807	Not reached yet
class_W36	4,75E-05	0,01182465	0,00401578	Not reached yet
class_W37	0,00107371	0,01504203	0,07138074	Not reached yet
class_W38	1,45E-05	0,01379177	0,00104872	Not reached yet
class_W39	0,00090016	0,00335496	0,26830755	Not reached yet
class_W40	0,00038328	0,00438177	0,08747109	Not reached yet
class_W5_2	1,30E-05	0,00364775	0,00356128	Not reached yet
class_W6_2	1,57E-05	0,00376656	0,00417736	Not reached yet
class_W7_2	2,28E-05	0,01005588	0,00227175	Not reached yet
class_W8_2	0,00045883	0,01009167	0,04546642	Not reached yet
class_W9_2	0,00107899	0,01001685	0,10771773	Not reached yet

CAVE									
Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status	Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C1_1	11,53064	305,0719	0,03779646	Not reached yet	class_C19_1	0,00113555	0,04786678	0,02372318	Not reached yet
class_C20_1	0,75798408	30,17451	0,02512001	Not reached yet	class_C20_1	3,33E-05	0,03312132	0,0010055	Not reached yet
class_C21_1	18,34422	245,6398	0,07467934	Not reached yet	class_C21_1	0,00047848	0,02801559	0,01707914	Not reached yet
class_C22_1	19,33707	150,2542	0,12869571	Not reached yet	class_C22_1	0,0013381	0,04507675	0,0296849	Not reached yet
class_C23_1	25,32684	228,2055	0,11098259	Not reached yet	class_C23_1	0,00011615	0,02750979	0,004222	Not reached yet
class_C24_1	9,94876	234,8165	0,04236822	Not reached yet	class_C24_1	3,54E-06	0,02380895	0,00014882	Not reached yet
class_C25_1	29,93048	249,651	0,11988928	Not reached yet	class_C25_1	0,00087087	0,01370477	0,06354509	Not reached yet
class_C26_1	28,22239	317,5124	0,08888594	Not reached yet	class_C26_1	0,000522	0,01508555	0,03460233	Not reached yet
class_C27_1	10,24304	154,2819	0,06639176	Not reached yet	class_C27_1	0,00032843	0,01545623	0,02124884	Not reached yet
class_C28_1	3,54469	176,0713	0,02013215	Not reached yet	class_C28_1	0,00127386	0,04752897	0,02680183	Not reached yet
class_C29_1	2,90195	35,6338	0,08143822	Not reached yet	class_C29_1	0,00029025	0,02913126	0,00996368	Not reached yet
class_C2_1	6,30646	161,1883	0,0391248	Not reached yet	class_C2_1	0,00059012	0,03557077	0,01659004	Not reached yet
class_C30_1	5,69253	52,71146	0,1079942	Not reached yet	class_C30_1	0,00079619	0,04129254	0,01928164	Not reached yet
class_C32_1	27,64186	194,9693	0,14177545	Not reached yet	class_C32_1	0,00117702	0,03962741	0,02970223	Not reached yet
class_C33_1	10,10493	64,95716	0,15556306	Not reached yet	class_C33_1	0,00025583	0,04202882	0,00608713	Not reached yet
class_C34_1	9,05807	65,58856	0,1381045	Not reached yet	class_C34_1	4,45E-06	0,0673126	6,61E-05	Not reached yet
class_C3_1	14,94882	175,3617	0,08524566	Not reached yet	class_C3_1	0,00228607	0,04968594	0,04601045	Not reached yet
class_C4_1	7,03349	103,6967	0,06782749	Not reached yet	class_C4_1	0,00301732	0,04001667	0,07540152	Not reached yet
class_C13_1	3,82324	29,62485	0,12905519	Not reached yet	class_C13_1	8,17E-05	0,07707835	0,00105997	Not reached yet
class_C17_1	18,60266	314,2451	0,05919794	Not reached yet	class_C17_1	0,00026966	0,04575367	0,00589364	Not reached yet
class_C18_1	13,61048	312,7248	0,04352223	Not reached yet	class_C18_1	0,00073283	0,04545051	0,01612362	Not reached yet
class_C19_1	19,3189	377,4014	0,05118927	Not reached yet	class_C19_1	0,00113555	0,04786678	0,02372318	Not reached yet
class_W12_1	1,70869	190,9185	0,00894984	Not reached yet	class_W11	0,00026565	0,01435023	0,01851189	Not reached yet
class_W14_1	10,58833	197,6794	0,05356316	Not reached yet	class_W14	0,00010852	0,01273615	0,0085207	Not reached yet
class_W15_1	8,85609	196,6454	0,04503583	Not reached yet	class_W16	9,17E-05	0,01261223	0,00727328	Not reached yet
class_W16_1	4,0657	201,0867	0,02021865	Not reached yet	class_W35	0,0002093	0,01267342	0,01651473	Not reached yet
class_W35_1	6,05134	194,6381	0,0310902	Not reached yet	class_W36	1,10E-05	0,01641031	0,00066923	Not reached yet
class_W36_1	9,80755	196,3219	0,04995646	Not reached yet	class_W37	0,00018897	0,00865552	0,0218318	Not reached yet
class_W37_1	1,5228	124,6972	0,01221201	Not reached yet	class_W38	9,15E-05	0,01155743	0,00792057	Not reached yet
class_W38_1	22,77524	287,0556	0,07934087	Not reached yet	class_W39	2,37E-05	0,00631833	0,00375222	Not reached yet
class_W39_1	2,06313	335,4668	0,00615004	Not reached yet	class_W40	0,00011559	0,00603418	0,01915521	Not reached yet
class_W40_1	1,55746	350,7352	0,00444057	Not reached yet	class_W41	7,72E-06	0,00435917	0,0017711	Not reached yet
class_W41_1	1,01202	237,4823	0,00426146	Not reached yet	class_W42	0,00015456	0,00391209	0,03950787	Not reached yet
class_W42_1	1,89766	221,131	0,00858161	Not reached yet	class_W5_1	6,78E-05	0,00918574	0,00738041	Not reached yet
class_W5_1	5,6029	245,9427	0,02278132	Not reached yet	class_W7_1	8,74E-05	0,00619752	0,01410017	Not reached yet
class_W7_1	3,44171	206,3654	0,01667773	Not reached yet	class_W8_1	1,47E-05	0,01079724	0,00136454	Not reached yet
class_W8_1	1,44586	193,5964	0,00746842	Not reached yet	class_W9_1	0,00067625	0,01032941	0,06546813	Not reached yet
class_W9_1	1,04088	244,775	0,00425238	Not reached yet					

Cálculo da capacidade resistente para ação sísmica 1.3, segundo a direção y, considerando H fictício

COBERTURA

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status	Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_5	6,79527	27,60637	0,24614848	Not reached yet	class_C13_5	0,001085	0,02671069	0,04062046	Not reached yet
class_C1_5	1,16623	96,69158	0,01206135	Not reached yet	class_C20_1	8,45E-05	0,02425177	0,00348241	Not reached yet
class_C20_5	15,29395	36,55714	0,41835736	Not reached yet	class_C20_5	0,00108841	0,0208209	0,05227502	Not reached yet
class_C21_5	22,55395	133,7873	0,16858072	Not reached yet	class_C21_5	0,00150478	0,02586723	0,05817322	Not reached yet
class_C22_5	59,84323	155,0467	0,38596909	Not reached yet	class_C22_5	0,00081098	0,01407755	0,05760838	Not reached yet
class_C23_5	140,3772	174,0362	0,80659736	Not reached yet	class_C23_5	0,00084357	0,03304295	0,02552941	Not reached yet
class_C24_5	191,1407	195,7641	0,97638288	Not reached yet	class_C24_5	0,00011896	0,01345001	0,00884495	Not reached yet
class_C25_5	1,09E-06	99,76448	1,09E-08	Not reached yet	class_C25_5	0,00067947	0,02916586	0,02329665	Not reached yet
class_C26_5	7,49E-07	124,9112	6,00E-09	Not reached yet	class_C26_5	0,0003067	0,02499029	0,01227291	Not reached yet
class_C27_5	1,46E-06	216,6854	6,73E-09	Not reached yet	class_C27_5	0,00018453	0,03317673	0,00556195	Not reached yet
class_C29_5	11,11335	53,60323	0,20732604	Not reached yet	class_C29_5	0,00092569	0,03606954	0,02566412	Not reached yet
class_C2_5	7,28235	187,8369	0,03876955	Not reached yet	class_C2_5	0,00130304	0,05414105	0,02406755	Not reached yet
class_C30_5	11,2376	41,99646	0,26758433	Not reached yet	class_C30_5	0,00085148	0,01660509	0,05127837	Not reached yet
class_C32_5	55,86956	151,8574	0,36790801	Not reached yet	class_C32_5	0,00073407	0,01564485	0,04692077	Not reached yet
class_C33_5	20,56739	50,84462	0,4045145	Not reached yet	class_C33_5	0,00027167	0,02625569	0,01034718	Not reached yet
class_C34_5	12,67052	43,78044	0,28941059	Not reached yet	class_C34_5	0,00049999	0,03135797	0,01594463	Not reached yet
class_C3_5	16,43938	101,8117	0,1614684	Not reached yet	class_C3_5	0,00334939	0,02322644	0,144206	Not reached yet
class_C4_5	14,785	88,73684	0,16661627	Not reached yet	class_C4_5	0,00624599	0,03618489	0,17261319	Not reached yet
class_W41_5	4,02496	219,0535	0,01837431	Not reached yet	class_W41_5	0,00077202	0,01484641	0,05200071	Not reached yet
class_W39_5	5,22532	144,708	0,03610938	Not reached yet	class_W39_5	0,00052912	0,01220888	0,04333862	Not reached yet
class_W38_5	7,28412	198,0817	0,03677332	Not reached yet	class_W38_5	1,11E-05	0,00544068	0,0020445	Not reached yet
class_W37_5	5,38351	75,10198	0,07168265	Not reached yet	class_W37_5	1,45E-05	0,0084959	0,00170205	Not reached yet

PISO 3

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status	Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_4	5,86284	29,20011	0,20078157	Not reached yet	class_C13_4	0,00198715	0,02702156	0,07353942	Not reached yet
class_C1_4	93,39254	142,8162	0,65393511	Not reached yet	class_C1_4	0,00355113	0,02880545	0,12327971	Not reached yet
class_C20_4	20,6455	41,20856	0,50100028	Not reached yet	class_C20_4	0,00174464	0,01943703	0,08975859	Not reached yet
class_C21_4	62,01739	189,889	0,32659808	Not reached yet	class_C21_4	0,00043133	0,02006235	0,02149925	Not reached yet
class_C22_4	136,4073	185,9523	0,73356079	Not reached yet	class_C22_4	0,01278702	0,01699608	0,7523509	Not reached yet
class_C23_4	185,7692	196,9832	1,18412	Not reached yet	class_C23_4	0,00583665	0,02078791	0,28077139	Not reached yet
class_C24_4	198,5149	204,451	1,60192	Not reached yet	class_C24_4	0,00303139	0,02300977	0,13174357	Not reached yet
class_C25_4	59,67632	251,257	0,23751107	Not reached yet	class_C25_4	0,000306	0,01599771	0,01912758	Not reached yet
class_C26_4	33,52688	321,3916	0,10431786	Not reached yet	class_C26_4	0,0013902	0,02701531	0,05145957	Not reached yet
class_C27_4	36,28917	289,8933	0,1251811	Not reached yet	class_C27_4	0,00087519	0,02551079	0,03430674	Not reached yet
class_C29_4	44,28848	49,70111	0,89109644	Not reached yet	class_C29_4	0,00595714	0,02470314	0,24114917	Not reached yet
class_C2_4	91,11841	137,5489	0,66244385	Not reached yet	class_C2_4	0,0020972	0,03067736	0,06836314	Not reached yet
class_C30_4	45,3261	75,81565	0,59784626	Not reached yet	class_C30_4	0,00469204	0,02418067	0,19404094	Not reached yet
class_C32_4	199,4193	210,5507	0,94713219	Not reached yet	class_C32_4	0,00567174	0,01847679	0,30696564	Not reached yet
class_C33_4	54,28106	62,91709	0,86273959	Not reached yet	class_C33_4	0,00029428	0,02243847	0,013115	Not reached yet
class_C34_4	48,11177	105,2449	0,457141	Not reached yet	class_C34_4	0,00239927	0,02468827	0,0971826	Not reached yet
class_C3_4	71,99439	128,2279	0,56145662	Not reached yet	class_C3_4	0,01037876	0,02611564	0,39741552	Not reached yet
class_C4_4	42,56456	130,083	0,32721063	Not reached yet	class_C4_4	0,00174464	0,01943703	0,08975859	Not reached yet
class_W37_4	4,98776	115,2726	0,0432693	Not reached yet	class_W37_4	0,00060461	0,00854244	0,07077664	Not reached yet
class_W38_4	16,96142	250,9347	0,06759296	Not reached yet	class_W38_4	2,54E-05	0,00808012	0,00313854	Not reached yet
class_W39_4	9,48333	298,16	0,03180618	Not reached yet	class_W39_4	0,00136733	0,00832047	0,164333	Not reached yet
class_W41_4	12,90905	232,8375	0,05544231	Not reached yet	class_W41_4	0,00103628	0,00768312	0,13487786	Not reached yet

PISO 2

Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status	Class Name	Demand	Capacity	formance Ra	Status
class_C13_3	0,00162179	33,4575	4,85E-05	Not reached yet	class_C13_3	0,00069019	0,03500979	0,01971419	Not reached yet
class_C1_3	42,92417	256,2176	0,16753014	Not reached yet	class_C1_3	0,00590137	0,03040317	0,19410388	Not reached yet
class_C20_3	8,51221	37,23299	0,22862011	Not reached yet	class_C20_3	0,00144025	0,02525713	0,0570236	Not reached yet
class_C21_3	34,75158	207,2338	0,1676926	Not reached yet	class_C21_3	0,00058819	0,03012439	0,01952539	Not reached yet
class_C22_3	62,54527	211,5612	0,29563673	Not reached yet	class_C22_3	0,00507024	0,02774488	0,18274499	Not reached yet
class_C24_3	198,5998	535,1929	0,3710807	Not reached yet	class_C23_3	0,00158688	0,02229838	0,07116565	Not reached yet
class_C24_3	6,9261	335,5318	0,02064216	Not reached yet	class_C24_3	0,00066062	0,03390311	0,01948549	Not reached yet
class_C25_3	24,05307	194,3042	0,12379076	Not reached yet	class_C25_3	0,00534037	0,03073926	0,17373135	Not reached yet

class_C26_3	28,64953	180,102	0,15907394	Not reached yet	class_C26_3	0,00496731	0,03062537	0,16219606	Not reached yet
class_C27_3	27,56571	153,9514	0,17905465	Not reached yet	class_C27_3	0,00257997	0,03175045	0,08125768	Not reached yet
class_C29_3	33,58935	51,28599	0,65494205	Not reached yet	class_C29_3	0,00144601	0,01463213	0,09882406	Not reached yet
class_C2_3	53,33342	238,4722	0,2236463	Not reached yet	class_C2_3	0,00234021	0,03762507	0,06219821	Not reached yet
class_C30_3	39,03064	62,13779	0,62813049	Not reached yet	class_C30_3	0,00335404	0,0304113	0,11028935	Not reached yet
class_C32_3	81,45596	248,6526	0,32758937	Not reached yet	class_C32_3	0,00464767	0,03184303	0,14595562	Not reached yet
class_C33_3	49,93458	79,59009	0,62739697	Not reached yet	class_C33_3	0,0002464	0,02105885	0,01170051	Not reached yet
class_C34_3	21,70429	92,574	0,23445341	Not reached yet	class_C34_3	0,00054111	0,033415	0,01619373	Not reached yet
class_C3_3	66,28648	546,7167	0,12124466	Not reached yet	class_C3_3	0,00641923	0,03147002	0,20397929	Not reached yet
class_C4_3	30,70382	121,0578	0,25362948	Not reached yet	class_C4_3	0,00340879	0,03080121	0,1106705	Not reached yet
class_W37_3	2,37365	165,2997	0,01435968	Not reached yet	class_W37_3	0,00041743	0,00907485	0,04599892	Not reached yet
class_W41_3	3,47946	231,6443	0,01502069	Not reached yet	class_W41_3	0,00108835	0,01291997	0,0842377	Not reached yet
class_W39_3	2,50963	297,2945	0,00844155	Not reached yet	class_W39_3	0,00146048	0,01713963	0,08521048	Not reached yet
class_W38_3	16,37694	250,9347	0,06526375	Not reached yet	class_W38_3	5,01E-05	0,00396353	0,0126336	Not reached yet

PISO 1

Class Name	Demand	Capacity	formance Re	Status	Class Name	Demand	Capacity	formance Re	Status
class_C13_2	2,45081	28,86943	0,08489301	Not reached yet	class_C13_2	0,0006275	0,03181347	0,0197245	Not reached yet
class_C13_2	2,2995	28,86943	0,07965182	Not reached yet	class_C13_2	0,00017636	0,02736408	0,006445	Not reached yet
class_C13_2	2,45081	28,86943	0,08489301	Not reached yet	class_C13_2	0,00050687	0,0294799	0,01719391	Not reached yet
class_C13_2	2,2995	28,86943	0,07965182	Not reached yet	class_C13_2	0,00117876	0,03181347	0,03705229	Not reached yet
class_C1_2	19,04398	426,6706	0,04463392	Not reached yet	class_C1_2	0,0020279	0,05277893	0,03842251	Not reached yet
class_C1_2	2,96385	132,0597	0,02244325	Not reached yet	class_C1_2	0,00154366	0,04949055	0,03119093	Not reached yet
class_C1_2	19,04398	426,6706	0,04463392	Not reached yet	class_C1_2	0,0033609	0,032499	0,10341557	Not reached yet
class_C1_2	2,96385	132,0597	0,02244325	Not reached yet	class_C1_2	0,00222698	0,03628605	0,06137289	Not reached yet
class_C20_2	3,87953	58,54056	0,06627087	Not reached yet	class_C20_2	0,00019093	0,00818126	0,02333763	Not reached yet
class_C20_2	1,17983	58,64252	0,02011911	Not reached yet	class_C20_2	0,00126904	0,00821155	0,1545431	Not reached yet
class_C20_2	3,87953	29,81975	0,13009946	Not reached yet	class_C20_2	0,00066098	0,02864623	0,02307393	Not reached yet
class_C20_2	1,17983	29,81975	0,03956555	Not reached yet	class_C20_2	0,00282999	0,02864623	0,09879113	Not reached yet
class_C21_2	53,86256	248,7951	0,21649369	Not reached yet	class_C21_2	0,00127516	0,02267171	0,05624451	Not reached yet
class_C21_2	44,00439	199,8815	0,2201524	Not reached yet	class_C21_2	0,00033338	0,01859538	0,0179282	Not reached yet
class_C21_2	53,86256	183,5754	0,2934084	Not reached yet	class_C21_2	0,00094392	0,02189448	0,04311206	Not reached yet
class_C21_2	44,00439	210,6128	0,208935	Not reached yet	class_C21_2	0,002542	0,02513016	0,10115335	Not reached yet
class_C22_2	7,57232	162,8691	0,04649327	Not reached yet	class_C22_2	0,00164383	0,01154015	0,14244463	Not reached yet
class_C22_2	28,77622	213,1821	0,13498421	Not reached yet	class_C22_2	0,00025556	0,01697945	0,01505134	Not reached yet
class_C22_2	7,57232	147,7215	0,05126076	Not reached yet	class_C22_2	0,00382	0,02883565	0,13247478	Not reached yet
class_C22_2	28,77622	138,497	0,20777504	Not reached yet	class_C22_2	0,00028093	0,02266191	0,01239637	Not reached yet
class_C23_2	39,8516	438,3832	0,09090585	Not reached yet	class_C23_2	0,00108296	0,01801746	0,06010634	Not reached yet
class_C23_2	51,50824	426,0599	0,12089436	Not reached yet	class_C23_2	0,00030732	0,02723298	0,01128472	Not reached yet
class_C23_2	39,8516	515,0865	0,07736876	Not reached yet	class_C23_2	0,00587753	0,0293682	0,20013245	Not reached yet
class_C23_2	51,50824	221,9884	0,23203124	Not reached yet	class_C23_2	9,75E-05	0,01891108	0,00515448	Not reached yet
class_C24_2	41,44134	451,9708	0,09169031	Not reached yet	class_C24_2	0,00222856	0,02695821	0,08266729	Not reached yet
class_C24_2	56,52045	316,9237	0,1783409	Not reached yet	class_C24_2	0,0003346	0,02846798	0,01175344	Not reached yet
class_C24_2	41,44134	526,3122	0,0787391	Not reached yet	class_C24_2	0,00716923	0,03411275	0,21016275	Not reached yet
class_C24_2	56,52045	229,7174	0,24604345	Not reached yet	class_C24_2	0,0001307	0,02344402	0,00557504	Not reached yet
class_C25_2	24,05074	320,6819	0,07499875	Not reached yet	class_C25_2	0,00212632	0,02459349	0,08645847	Not reached yet
class_C25_2	299,2745	594,0636	0,50377514	Not reached yet	class_C25_2	0,00044056	0,02818795	0,01562943	Not reached yet
class_C25_2	24,05074	484,1329	0,04967797	Not reached yet	class_C25_2	0,00016399	0,02155319	0,00760845	Not reached yet
class_C25_2	299,2745	719,3753	0,41601999	Not reached yet	class_C25_2	5,04E-05	0,02388527	0,00210863	Not reached yet
class_C26_2	28,64936	302,5505	0,09469282	Not reached yet	class_C26_2	0,00027488	0,01944444	0,01413677	Not reached yet
class_C26_2	111,1411	715,3008	0,1553768	Not reached yet	class_C26_2	0,00032041	0,03829064	0,00836781	Not reached yet
class_C26_2	28,64936	457,5577	0,06261365	Not reached yet	class_C26_2	0,00065873	0,030739	0,02142987	Not reached yet
class_C26_2	111,1411	490,6982	0,22649594	Not reached yet	class_C26_2	5,42E-05	0,02402894	0,00225685	Not reached yet
class_C27_2	27,44138	160,0088	0,17149914	Not reached yet	class_C27_2	0,00078559	0,01564288	0,05022007	Not reached yet
class_C27_2	43,5967	292,239	0,14918169	Not reached yet	class_C27_2	0,00035978	0,02913812	0,01234745	Not reached yet
class_C27_2	27,44138	209,3767	0,13106222	Not reached yet	class_C27_2	0,00245381	0,03003664	0,0816938	Not reached yet
class_C27_2	43,5967	162,6607	0,26802239	Not reached yet	class_C27_2	0,00024128	0,02190308	0,01101566	Not reached yet
class_C29_2	0,14193971	35,66539	0,00397976	Not reached yet	class_C29_2	0,00082297	0,04480901	0,01836622	Not reached yet
class_C29_2	0,54340858	29,17677	0,0186247	Not reached yet	class_C29_2	1,09E-05	0,04028491	0,00027055	Not reached yet
class_C29_2	0,14193971	35,66539	0,00397976	Not reached yet	class_C29_2	0,00094702	0,03825089	0,02475819	Not reached yet
class_C29_2	0,54340858	29,17677	0,0186247	Not reached yet	class_C29_2	3,99E-06	0,03193734	0,00012484	Not reached yet
class_C4_2	5,22148	102,9117	0,05073747	Not reached yet	class_C2_2	0,00097751	0,03513233	0,02782363	Not reached yet
class_C4_2	4,2873	88,3387	0,04853247	Not reached yet	class_C2_2	0,00147174	0,03070402	0,04793321	Not reached yet
class_C4_2	5,22148	102,9117	0,05073747	Not reached yet	class_C2_2	0,00185939	0,03264973	0,05694969	Not reached yet
class_C4_2	4,2873	88,3387	0,04853247	Not reached yet	class_C2_2	0,00218786	0,03339864	0,06550761	Not reached yet
class_C2_2	25,64148	220,9045	0,11607497	Not reached yet	class_C30_2	0,00151432	0,03601553	0,04204621	Not reached yet
class_C2_2	2,6547	131,5656	0,02017779	Not reached yet	class_C30_2	0,00029664	0,03089275	0,00960232	Not reached yet
class_C2_2	25,64148	165,2542	0,15516388	Not reached yet	class_C30_2	0,00128377	0,03601553	0,03564498	Not reached yet
class_C2_2	2,6547	95,9288	0,02767368	Not reached yet	class_C30_2	0,00034723	0,03252018	0,01067723	Not reached yet
class_C30_2	5,14903	52,3466	0,09836416	Not reached yet	class_C32_2	0,0018332	0,03025425	0,06059323	Not reached yet
class_C30_2	0,92502469	52,01928	0,01778234	Not reached yet	class_C32_2	0,00030924	0,02312187	0,01337425	Not reached yet
class_C30_2	5,14903	52,3466	0,09836416	Not reached yet	class_C32_2	0,00207751	0,03025425	0,06866834	Not reached yet

class_C30_2	0,92502469	52,01928	0,01778234	Not reached yet	class_C32_2	0,00031779	0,02303116	0,01379825	Not reached yet
class_C32_2	11,57519	172,2693	0,06719243	Not reached yet	class_C33_2	0,00048251	0,03111216	0,01550869	Not reached yet
class_C32_2	4,8633	147,2696	0,03302314	Not reached yet	class_C33_2	0,0003292	0,0305209	0,01078607	Not reached yet
class_C32_2	11,57519	166,6325	0,06946537	Not reached yet	class_C33_2	0,00038367	0,03381981	0,01134447	Not reached yet
class_C32_2	4,8633	147,2696	0,03302314	Not reached yet	class_C33_2	0,00038017	0,03462104	0,01098081	Not reached yet
class_C33_2	8,21244	61,06211	0,1344932	Not reached yet	class_C34_2	0,00024199	0,03807222	0,00635619	Not reached yet
class_C33_2	8,85841	60,55748	0,14628095	Not reached yet	class_C34_2	3,09E-05	0,02636792	0,00117316	Not reached yet
class_C33_2	8,21244	61,06211	0,1344932	Not reached yet	class_C34_2	0,00036295	0,03955672	0,00917552	Not reached yet
class_C33_2	8,85841	60,55748	0,14628095	Not reached yet	class_C34_2	4,43E-05	0,03973359	0,00111481	Not reached yet
class_C34_2	1,12404	65,22892	0,0172322	Not reached yet	class_C3_2	0,00323351	0,03564869	0,09070481	Not reached yet
class_C34_2	3,75035	52,88665	0,07091307	Not reached yet	class_C3_2	0,00147206	0,03552429	0,0414381	Not reached yet
class_C34_2	1,12404	65,22892	0,0172322	Not reached yet	class_C3_2	0,00584893	0,02931399	0,19952687	Not reached yet
class_C34_2	3,75035	52,88665	0,07091307	Not reached yet	class_C3_2	0,00215001	0,02998638	0,07169967	Not reached yet
class_C3_2	22,50784	223,4939	0,10070899	Not reached yet	class_C4_2	0,00420818	0,03822809	0,11008095	Not reached yet
class_C3_2	8,41136	154,9535	0,05428314	Not reached yet	class_C4_2	0,00144779	0,03822809	0,03787244	Not reached yet
class_C3_2	22,50784	179,3327	0,12550882	Not reached yet	class_C4_2	0,00777401	0,03388375	0,22943188	Not reached yet
class_C3_2	8,41136	102,9754	0,08168319	Not reached yet	class_C4_2	0,00210018	0,03388375	0,06198205	Not reached yet
class_W10_2	15,85413	210,2811	0,07539495	Not reached yet	class_W10_2	6,89E-05	0,01004097	0,00685925	Not reached yet
class_W11_2	1,51096	189,58	0,00797003	Not reached yet	class_W11_2	0,0003881	0,01330596	0,02916759	Not reached yet
class_W12_2	5,11969	191,0331	0,0268	Not reached yet	class_W12_2	0,00025306	0,01456523	0,01737399	Not reached yet
class_W14_2	5,92334	195,2844	0,03033184	Not reached yet	class_W14_2	0,00040543	0,00984419	0,04118427	Not reached yet
class_W15_2	7,98389	194,9594	0,04095155	Not reached yet	class_W15_2	0,00040341	0,00971318	0,04153268	Not reached yet
class_W16_2	5,09614	190,3614	0,02677086	Not reached yet	class_W16_2	0,0007604	0,01009598	0,07531731	Not reached yet
class_W31_2	1,06621	194,6659	0,00547711	Not reached yet	class_W31_2	4,87E-05	0,00947643	0,00513802	Not reached yet
class_W35_2	5,2364	193,9618	0,02699705	Not reached yet	class_W35_2	2,87E-05	0,01293628	0,00221928	Not reached yet
class_W36_2	11,57734	195,1729	0,05931835	Not reached yet	class_W36_2	3,16E-05	0,01067084	0,00296334	Not reached yet
class_W37_2	3,05925	136,8439	0,02235573	Not reached yet	class_W37_2	0,00027733	0,01221729	0,02269954	Not reached yet
class_W38_2	20,9728	282,4554	0,07425173	Not reached yet	class_W38_2	0,00010124	0,01167889	0,00866833	Not reached yet
class_W39_2	2,39655	335,4668	0,00714391	Not reached yet	class_W39_2	0,00109534	0,00997397	0,10982007	Not reached yet
class_W40_2	3,55806	239,9014	0,01483134	Not reached yet	class_W40_2	0,00049402	0,01108883	0,0445509	Not reached yet
class_W5_2	19,31021	249,6552	0,07734749	Not reached yet	class_W5_2	5,68E-06	0,00384234	0,00147796	Not reached yet
class_W6_2	41,1807	249,6742	0,16493775	Not reached yet	class_W6_2	3,58E-06	0,00432072	0,00082872	Not reached yet
class_W7_2	1,29539	206,6252	0,00626929	Not reached yet	class_W7_2	3,09E-05	0,01046293	0,0029502	Not reached yet
class_W8_2	0,18631104	193,5928	0,00096239	Not reached yet	class_W8_2	8,26E-05	0,01223342	0,00675274	Not reached yet
class_W9_2	1,51321	193,8491	0,00780613	Not reached yet	class_W9_2	6,30E-05	0,01261558	0,00499757	Not reached yet

CAVE

Class Name	Demand	Capacity	formance Re	Status	Class Name	Demand	Capacity	formance Re	Status
class_C13_1	6,89072	31,02014	0,22213684	Not reached yet	class_C13_1	0,0003312	0,03195906	0,01036321	Not reached yet
class_C13_1	1,5877	29,13606	0,05449267	Not reached yet	class_C13_1	0,00219971	0,03350501	0,06565314	Not reached yet
class_C13_1	6,89072	31,02014	0,22213684	Not reached yet	class_C13_1	0,00036417	0,03350501	0,01086926	Not reached yet
class_C13_1	1,5877	29,13606	0,05449267	Not reached yet	class_C13_1	0,00057313	0,03093729	0,01852554	Not reached yet
class_C17_1	35,32558	97,71865	0,36150293	Not reached yet	class_C17_1	0,00149154	0,0348333	0,04281934	Not reached yet
class_C17_1	16,10428	97,71865	0,16480252	Not reached yet	class_C17_1	0,00335142	0,0348333	0,09621297	Not reached yet
class_C17_1	35,32558	314,245	0,11241414	Not reached yet	class_C17_1	0,00067591	0,04575373	0,01477285	Not reached yet
class_C17_1	16,10428	314,245	0,05124753	Not reached yet	class_C17_1	0,00148282	0,04575373	0,03240875	Not reached yet
class_C18_1	33,02831	120,255	0,27465226	Not reached yet	class_C18_1	0,00334218	0,03530742	0,09465935	Not reached yet
class_C18_1	32,98367	120,255	0,27428103	Not reached yet	class_C18_1	0,00334648	0,03530742	0,09478124	Not reached yet
class_C18_1	33,02831	312,7244	0,10561477	Not reached yet	class_C18_1	0,00138506	0,04545086	0,03047371	Not reached yet
class_C18_1	32,98367	312,7244	0,10547202	Not reached yet	class_C18_1	0,00138693	0,04545086	0,03051492	Not reached yet
class_C19_1	36,9534	112,7559	0,32772932	Not reached yet	class_C19_1	0,005723	0,03515472	0,1627947	Not reached yet
class_C19_1	64,59197	112,7559	0,57284807	Not reached yet	class_C19_1	0,00334784	0,03515472	0,09523148	Not reached yet
class_C19_1	36,9534	377,4012	0,09791542	Not reached yet	class_C19_1	0,0027117	0,04786698	0,05665069	Not reached yet
class_C19_1	64,59197	377,4012	0,17114934	Not reached yet	class_C19_1	0,00155139	0,04786698	0,03241046	Not reached yet
class_C1_1	78,62492	317,6008	0,24755891	Not reached yet	class_C1_1	0,00332757	0,02809917	0,11842239	Not reached yet
class_C1_1	7,49037	108,351	0,06913062	Not reached yet	class_C1_1	0,00289138	0,02519936	0,11474005	Not reached yet
class_C1_1	78,62492	481,1319	0,16341655	Not reached yet	class_C1_1	0,00103078	0,04015164	0,02567207	Not reached yet
class_C1_1	7,49037	123,2571	0,06077703	Not reached yet	class_C1_1	0,00087992	0,02763077	0,03184569	Not reached yet
class_C20_1	6,26745	29,81975	0,21017772	Not reached yet	class_C20_1	0,00023063	0,03379516	0,00682422	Not reached yet
class_C20_1	0,47994854	29,81975	0,01609499	Not reached yet	class_C20_1	0,00333023	0,03379516	0,09854151	Not reached yet
class_C20_1	6,26745	58,64252	0,10687549	Not reached yet	class_C20_1	8,69E-05	0,01157582	0,00750386	Not reached yet
class_C20_1	0,47994854	42,35155	0,01133249	Not reached yet	class_C20_1	0,00051174	0,00818126	0,06255	Not reached yet
class_C21_1	57,83417	137,3885	0,42095353	Not reached yet	class_C21_1	0,00140828	0,0217575	0,06472622	Not reached yet
class_C21_1	38,15008	144,9074	0,26327212	Not reached yet	class_C21_1	0,00332739	0,02305574	0,14431947	Not reached yet
class_C21_1	57,83417	201,4332	0,28711335	Not reached yet	class_C21_1	0,00123495	0,0183677	0,06723489	Not reached yet
class_C21_1	38,15008	177,3151	0,21515416	Not reached yet	class_C21_1	0,0010912	0,0164673	0,0662648	Not reached yet
class_C22_1	14,39341	183,1557	0,07858563	Not reached yet	class_C22_1	0,00571012	0,02128321	0,26829236	Not reached yet
class_C22_1	133,0639	186,5559	0,71326536	Not reached yet	class_C22_1	0,00020724	0,01741793	0,01189796	Not reached yet
class_C22_1	14,39341	145,9186	0,09863995	Not reached yet	class_C22_1	0,00016806	0,02239756	0,00750348	Not reached yet
class_C22_1	133,0639	237,3806	0,56055078	Not reached yet	class_C22_1	0,00022081	0,02774731	0,00795791	Not reached yet
class_C23_1	40,88136	461,7262	0,08854026	Not reached yet	class_C23_1	0,00804765	0,02887815	0,27867602	Not reached yet
class_C23_1	159,1591	254,0574	0,62646918	Not reached yet	class_C23_1	0,00023731	0,02215167	0,01071277	Not reached yet

class_C23_1	40,88136	449,5833	0,09093168	Not reached yet	class_C23_1	0,00086363	0,02042903	0,04227465	Not reached yet
class_C23_1	159,1591	385,8307	0,41251028	Not reached yet	class_C23_1	0,00028162	0,02247849	0,01252849	Not reached yet
class_C24_1	72,02511	459,5488	0,15673007	Not reached yet	class_C24_1	0,00802426	0,0336409	0,23852686	Not reached yet
class_C24_1	100,846	239,1969	0,4216025	Not reached yet	class_C24_1	0,00097747	0,0275571	0,03547065	Not reached yet
class_C24_1	72,02511	607,7545	0,11851021	Not reached yet	class_C24_1	0,00028261	0,02384801	0,01185049	Not reached yet
class_C24_1	100,846	460,965	0,21877153	Not reached yet	class_C24_1	6,31E-05	0,02558956	0,00246525	Not reached yet
class_C25_1	47,87762	245,7563	0,19481745	Not reached yet	class_C25_1	0,00570893	0,03114007	0,18333077	Not reached yet
class_C25_1	160,6437	309,719	0,51867553	Not reached yet	class_C25_1	0,00097778	0,02598028	0,03763533	Not reached yet
class_C25_1	47,87762	382,1749	0,12527671	Not reached yet	class_C25_1	0,0039528	0,02791565	0,14159809	Not reached yet
class_C25_1	160,6437	309,719	0,51867553	Not reached yet	class_C25_1	0,00014974	0,02082556	0,00719004	Not reached yet
class_C26_1	55,86594	316,9287	0,17627291	Not reached yet	class_C26_1	0,00332329	0,0267046	0,12444649	Not reached yet
class_C26_1	236,3401	472,7665	0,49990866	Not reached yet	class_C26_1	0,00097804	0,02577854	0,03794002	Not reached yet
class_C26_1	55,86594	439,3061	0,12716859	Not reached yet	class_C26_1	0,00116972	0,01804243	0,06483147	Not reached yet
class_C26_1	236,3401	751,3841	0,31453964	Not reached yet	class_C26_1	6,65E-06	0,03232847	0,0002058	Not reached yet
class_C27_1	43,18255	161,1888	0,26790038	Not reached yet	class_C27_1	0,00153772	0,03299403	0,04660613	Not reached yet
class_C27_1	29,75	159,7759	0,18619826	Not reached yet	class_C27_1	0,00097553	0,02757277	0,03538017	Not reached yet
class_C27_1	43,18255	218,9759	0,1972023	Not reached yet	class_C27_1	0,00063632	0,01825699	0,03485375	Not reached yet
class_C27_1	29,75	289,3542	0,10281516	Not reached yet	class_C27_1	4,95E-05	0,02905068	0,00170399	Not reached yet
class_C28_1	6,39801	106,2706	0,06020487	Not reached yet	class_C28_1	0,00803759	0,0365879	0,21967903	Not reached yet
class_C28_1	45,76494	102,6951	0,44563909	Not reached yet	class_C28_1	0,0033648	0,03712205	0,09064164	Not reached yet
class_C28_1	6,39801	176,0708	0,03633768	Not reached yet	class_C28_1	0,00298475	0,04753187	0,06279474	Not reached yet
class_C28_1	45,76494	190,886	0,23975012	Not reached yet	class_C28_1	0,00116416	0,05833956	0,01995485	Not reached yet
class_C29_1	1,47868	42,24153	0,03500536	Not reached yet	class_C29_1	0,00155615	0,03342603	0,046555	Not reached yet
class_C29_1	3,19247	28,9303	0,11035045	Not reached yet	class_C29_1	7,21E-05	0,02622655	0,00274844	Not reached yet
class_C29_1	1,47868	35,66391	0,04146153	Not reached yet	class_C29_1	0,00020877	0,03254904	0,00641399	Not reached yet
class_C29_1	3,19247	37,19875	0,08582202	Not reached yet	class_C29_1	0,00016164	0,0405083	0,00399032	Not reached yet
class_C2_1	74,82415	172,0875	0,4348029	Not reached yet	class_C2_1	0,00153664	0,03109976	0,04940994	Not reached yet
class_C2_1	3,26483	95,78746	0,0340841	Not reached yet	class_C2_1	0,00289018	0,02663742	0,10850058	Not reached yet
class_C2_1	74,82415	282,1428	0,26519959	Not reached yet	class_C2_1	0,00034274	0,02996455	0,01143807	Not reached yet
class_C2_1	3,26483	103,0807	0,03167256	Not reached yet	class_C2_1	0,00080609	0,0197432	0,04082886	Not reached yet
class_C30_1	4,48122	52,78108	0,08490198	Not reached yet	class_C30_1	0,00212694	0,03204084	0,06638216	Not reached yet
class_C30_1	8,64471	53,71245	0,16094419	Not reached yet	class_C30_1	0,00024068	0,02695398	0,00892929	Not reached yet
class_C30_1	4,48122	52,78108	0,08490198	Not reached yet	class_C30_1	0,00076512	0,01918203	0,03988748	Not reached yet
class_C30_1	8,64471	126,35	0,06841874	Not reached yet	class_C30_1	0,00026399	0,03519735	0,00750026	Not reached yet
class_C32_1	21,58919	211,5496	0,10205259	Not reached yet	class_C32_1	0,0033288	0,02485239	0,13394298	Not reached yet
class_C32_1	81,42679	180,6424	0,4507623	Not reached yet	class_C32_1	0,0002086	0,01938271	0,01076214	Not reached yet
class_C32_1	21,58919	164,3381	0,13137053	Not reached yet	class_C32_1	0,00083997	0,02722858	0,03084871	Not reached yet
class_C32_1	81,42679	304,0624	0,26779628	Not reached yet	class_C32_1	0,0002717	0,0416152	0,00652895	Not reached yet
class_C33_1	15,0051	63,147	0,23762174	Not reached yet	class_C33_1	0,00025287	0,03028695	0,00834907	Not reached yet
class_C33_1	3,59193	59,24564	0,06062767	Not reached yet	class_C33_1	0,00097311	0,03075687	0,03163876	Not reached yet
class_C33_1	15,0051	63,147	0,23762174	Not reached yet	class_C33_1	0,00020694	0,03021575	0,00684874	Not reached yet
class_C33_1	3,59193	59,24564	0,06062767	Not reached yet	class_C33_1	0,00061654	0,02975155	0,02072283	Not reached yet
class_C34_1	6,48012	66,73767	0,09709839	Not reached yet	class_C34_1	0,00114664	0,03703981	0,03095703	Not reached yet
class_C34_1	8,18748	53,9465	0,15177033	Not reached yet	class_C34_1	0,00021959	0,03204362	0,00685291	Not reached yet
class_C34_1	6,48012	66,73767	0,09709839	Not reached yet	class_C34_1	0,00032172	0,04163671	0,0077268	Not reached yet
class_C34_1	8,18748	53,9465	0,15177033	Not reached yet	class_C34_1	0,00036874	0,04049304	0,00910629	Not reached yet
class_C3_1	76,99246	186,7123	0,41235886	Not reached yet	class_C3_1	0,00570919	0,02895659	0,19716386	Not reached yet
class_C3_1	10,70224	102,0876	0,10483389	Not reached yet	class_C3_1	0,00289276	0,02485073	0,11640529	Not reached yet
class_C3_1	76,99246	325,7736	0,23633732	Not reached yet	class_C3_1	0,00175425	0,03845401	0,04561932	Not reached yet
class_C3_1	10,70224	130,8171	0,08181071	Not reached yet	class_C3_1	0,00081092	0,02682774	0,03022698	Not reached yet
class_C4_1	24,74117	105,6359	0,23421178	Not reached yet	class_C4_1	0,00801542	0,03073849	0,26076178	Not reached yet
class_C4_1	16,11974	109,2101	0,14760302	Not reached yet	class_C4_1	0,00290174	0,02947393	0,09845111	Not reached yet
class_C4_1	24,74117	172,9185	0,14307998	Not reached yet	class_C4_1	0,00226383	0,0312622	0,07241431	Not reached yet
class_C4_1	16,11974	172,4126	0,0934951	Not reached yet	class_C4_1	0,00079636	0,03062948	0,02599965	Not reached yet
class_W10_1	4,34461	207,2648	0,02096162	Not reached yet	class_W10_1	0,00038692	0,00674037	0,05740346	Not reached yet
class_W10_1	923,542	1574,669	0,58649897	Not reached yet	class_W10_1	0,00010568	0,01428371	0,00739892	Not reached yet
class_W10_1	4,34461	207,2648	0,02096162	Not reached yet	class_W10_1	0,0003021	0,00689846	0,04379232	Not reached yet
class_W10_1	923,542	1576,18	0,58593695	Not reached yet	class_W10_1	0,00032858	0,01652086	0,01988885	Not reached yet
class_W11_1	6,64034	190,5761	0,03484349	Not reached yet	class_W11_1	0,00027632	0,01425507	0,01938369	Not reached yet
class_W11_1	40,05702	331,433	0,12086009	Not reached yet	class_W11_1	0,00077269	0,02103746	0,03672938	Not reached yet
class_W11_1	6,64034	190,5761	0,03484349	Not reached yet	class_W11_1	0,0002307	0,01398736	0,01649343	Not reached yet
class_W11_1	40,05702	333,8333	0,1199911	Not reached yet	class_W11_1	0,00041616	0,02103746	0,01978174	Not reached yet
class_W12_1	2,58222	190,6977	0,01354091	Not reached yet	class_W12_1	0,00094947	0,01168105	0,08128271	Not reached yet
class_W12_1	93,7846	380,956	0,24618224	Not reached yet	class_W12_1	0,00046428	0,01742801	0,02663984	Not reached yet
class_W12_1	2,58222	190,6977	0,01354091	Not reached yet	class_W12_1	0,00038125	0,0124303	0,03067071	Not reached yet
class_W12_1	93,7846	386,6867	0,24253379	Not reached yet	class_W12_1	0,00020056	0,01941377	0,01033081	Not reached yet
class_W14_1	13,77119	198,6067	0,06933899	Not reached yet	class_W14_1	0,00054162	0,00942627	0,05745903	Not reached yet
class_W14_1	221,8275	682,591	0,32497858	Not reached yet	class_W14_1	0,00246189	0,0173965	0,14151624	Not reached yet
class_W14_1	13,77119	198,6067	0,06933899	Not reached yet	class_W14_1	0,00032781	0,01040519	0,03150458	Not reached yet
class_W14_1	221,8275	681,4492	0,3252314	Not reached yet	class_W14_1	0,00065338	0,01853568	0,0352499	Not reached yet
class_W15_1	12,35202	196,5925	0,06283059	Not reached yet	class_W16_1	0,001387	0,01089877	0,12726175	Not reached yet
class_W15_1	169,9514	623,2626	0,27268026	Not reached yet	class_W16_1	0,00310077	0,01616578	0,19181092	Not reached yet

class_W15_1	12,35202	196,5925	0,06283059	Not reached yet	class_W16_1	0,00077972	0,00934039	0,0834784	Not reached yet
class_W15_1	169,9514	627,4492	0,27086084	Not reached yet	class_W16_1	0,00102432	0,01442759	0,07099761	Not reached yet
class_W31_1	3,89243	194,6292	0,01999923	Not reached yet	class_W31_1	0,00028132	0,00962267	0,02923471	Not reached yet
class_W31_1	101,6492	631,6987	0,1609141	Not reached yet	class_W31_1	0,0007459	0,01836142	0,04062308	Not reached yet
class_W31_1	3,89243	194,6292	0,01999923	Not reached yet	class_W31_1	0,0001127	0,01106743	0,01018296	Not reached yet
class_W31_1	101,6492	627,2983	0,16204289	Not reached yet	class_W31_1	9,06E-06	0,01801313	0,00050288	Not reached yet
class_W35_1	14,04852	196,3782	0,0715381	Not reached yet	class_W35_1	4,72E-05	0,01173364	0,00402126	Not reached yet
class_W35_1	55,64789	513,3854	0,10839399	Not reached yet	class_W35_1	0,00144323	0,02138308	0,06749392	Not reached yet
class_W35_1	14,04852	196,3782	0,0715381	Not reached yet	class_W35_1	0,00016798	0,01404476	0,01196018	Not reached yet
class_W35_1	55,64789	500,8802	0,11110019	Not reached yet	class_W35_1	0,00029077	0,02184574	0,01331023	Not reached yet
class_W36_1	23,46036	196,5818	0,11934144	Not reached yet	class_W36_1	0,00011878	0,01461433	0,00812766	Not reached yet
class_W36_1	12,61408	593,0498	0,02126985	Not reached yet	class_W36_1	0,00191141	0,02051056	0,09319138	Not reached yet
class_W36_1	23,46036	196,5818	0,11934144	Not reached yet	class_W36_1	0,00012793	0,0183151	0,00698518	Not reached yet
class_W36_1	12,61408	556,8729	0,02265163	Not reached yet	class_W36_1	0,00047825	0,02030021	0,02355866	Not reached yet
class_W37_1	1,00237	184,4199	0,00543526	Not reached yet	class_W37_1	0,00156592	0,00920992	0,17002568	Not reached yet
class_W37_1	431,5943	718,2372	0,60090783	Not reached yet	class_W37_1	4,26E-05	0,01057703	0,00402651	Not reached yet
class_W37_1	1,00237	124,8011	0,00803174	Not reached yet	class_W37_1	0,00033233	0,00813699	0,04084233	Not reached yet
class_W37_1	431,5943	880,0576	0,49041605	Not reached yet	class_W37_1	0,00032239	0,01710128	0,01885157	Not reached yet
class_W38_1	38,23728	289,0372	0,13229191	Not reached yet	class_W38_1	0,00023429	0,01000637	0,02341374	Not reached yet
class_W38_1	504,2663	2075,258	0,24298967	Not reached yet	class_W38_1	0,0018943	0,01781894	0,10630803	Not reached yet
class_W38_1	38,23728	289,0372	0,13229191	Not reached yet	class_W38_1	0,00012053	0,00926028	0,01301538	Not reached yet
class_W38_1	504,2663	2638,044	0,19115162	Not reached yet	class_W38_1	0,00137714	0,02219798	0,06203878	Not reached yet
class_W39_1	2,92315	335,4668	0,00871369	Not reached yet	class_W39_1	0,00271181	0,01221659	0,22197763	Not reached yet
class_W39_1	585,0991	706,1819	0,82853876	Not reached yet	class_W39_1	1,81E-05	0,01855387	0,00097474	Not reached yet
class_W39_1	2,92315	335,4668	0,00871369	Not reached yet	class_W39_1	0,00120798	0,01037734	0,11640571	Not reached yet
class_W39_1	585,0991	839,7487	0,696755	Not reached yet	class_W39_1	0,00127375	0,02034565	0,06260567	Not reached yet
class_W40_1	5,78807	239,3818	0,02417924	Not reached yet	class_W40_1	0,00033075	0,00882221	0,03749078	Not reached yet
class_W40_1	153,3782	814,8712	0,18822384	Not reached yet	class_W40_1	0,00127304	0,016712	0,07617536	Not reached yet
class_W40_1	5,78807	239,3818	0,02417924	Not reached yet	class_W40_1	0,0002885	0,00900926	0,03202279	Not reached yet
class_W40_1	153,3782	829,072	0,18499983	Not reached yet	class_W40_1	0,00073278	0,017392	0,04213289	Not reached yet
class_W41_1	33,79765	233,5586	0,14470737	Not reached yet	class_W41_1	0,00035172	0,00747954	0,04702483	Not reached yet
class_W41_1	441,4424	1343,94	0,32846877	Not reached yet	class_W41_1	0,00213244	0,01532176	0,13917704	Not reached yet
class_W41_1	33,79765	233,5586	0,14470737	Not reached yet	class_W41_1	3,20E-05	0,00608294	0,00526259	Not reached yet
class_W41_1	441,4424	1388,333	0,3179658	Not reached yet	class_W41_1	0,00098778	0,01990896	0,0496147	Not reached yet
class_W42_1	0,39974393	221,1897	0,00180725	Not reached yet	class_W42_1	0,00093202	0,01062563	0,0877145	Not reached yet
class_W42_1	386,0714	824,0441	0,46850821	Not reached yet	class_W42_1	3,02E-05	0,01887597	0,00160087	Not reached yet
class_W42_1	0,39974393	221,1897	0,00180725	Not reached yet	class_W42_1	4,69E-05	0,0097146	0,0048252	Not reached yet
class_W42_1	386,0714	852,9942	0,45260735	Not reached yet	class_W42_1	4,93E-05	0,02037774	0,00241858	Not reached yet
class_W5_1	83,32495	245,8419	0,3389371	Not reached yet	class_W5_1	0,00026148	0,00616269	0,04242908	Not reached yet
class_W5_1	1566,438	2013,312	0,77804026	Not reached yet	class_W5_1	0,00690632	0,01552979	0,44471458	Not reached yet
class_W5_1	83,32495	245,8419	0,3389371	Not reached yet	class_W5_1	3,13E-05	0,00380864	0,0082144	Not reached yet
class_W5_1	1566,438	2053,088	0,76296652	Not reached yet	class_W5_1	0,00018892	0,01933463	0,00977088	Not reached yet
class_W6_1	43,70205	245,8419	0,17776485	Not reached yet	class_W6_1	0,00026284	0,00606113	0,04336566	Not reached yet
class_W6_1	1359,215	2004,683	0,67801997	Not reached yet	class_W6_1	0,00451915	0,01507276	0,29982244	Not reached yet
class_W6_1	43,70205	368,6896	0,11853346	Not reached yet	class_W6_1	3,10E-05	0,00381627	0,00812666	Not reached yet
class_W6_1	1359,215	2046,157	0,66427723	Not reached yet	class_W6_1	0,00054575	0,0139613	0,03909034	Not reached yet
class_W7_1	9,65795	206,3654	0,04680025	Not reached yet	class_W7_1	0,0002639	0,00835551	0,03158384	Not reached yet
class_W7_1	192,7916	1143,002	0,16867124	Not reached yet	class_W7_1	0,00271202	0,01618011	0,16761435	Not reached yet
class_W7_1	9,65795	212,9929	0,04534401	Not reached yet	class_W7_1	3,69E-05	0,00516104	0,00715875	Not reached yet
class_W7_1	192,7916	1181,93	0,16311598	Not reached yet	class_W7_1	0,00078832	0,0172903	0,04559318	Not reached yet
class_W8_1	12,9959	195,3774	0,06651691	Not reached yet	class_W8_1	5,40E-05	0,01347318	0,00400957	Not reached yet
class_W8_1	18,17673	541,5956	0,03356144	Not reached yet	class_W8_1	0,00185027	0,02135392	0,08664769	Not reached yet
class_W8_1	12,9959	202,7683	0,06409236	Not reached yet	class_W8_1	4,75E-06	0,01046671	0,00045349	Not reached yet
class_W8_1	18,17673	566,4736	0,03208751	Not reached yet	class_W8_1	0,0004614	0,01723035	0,02677845	Not reached yet
class_W9_1	6,89811	193,5622	0,0356377	Not reached yet	class_W9_1	0,00015498	0,01084379	0,01429168	Not reached yet
class_W9_1	106,9372	540,5936	0,19781439	Not reached yet	class_W9_1	0,00126284	0,02010008	0,06282779	Not reached yet
class_W9_1	6,89811	193,5622	0,0356377	Not reached yet	class_W9_1	0,00028422	0,01204274	0,02360071	Not reached yet
class_W9_1	106,9372	530,3911	0,20161951	Not reached yet	class_W9_1	3,00E-05	0,01665187	0,00180386	Not reached yet